

A2

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2002 年 10 月 31 日 (31.10.2002)

PCT

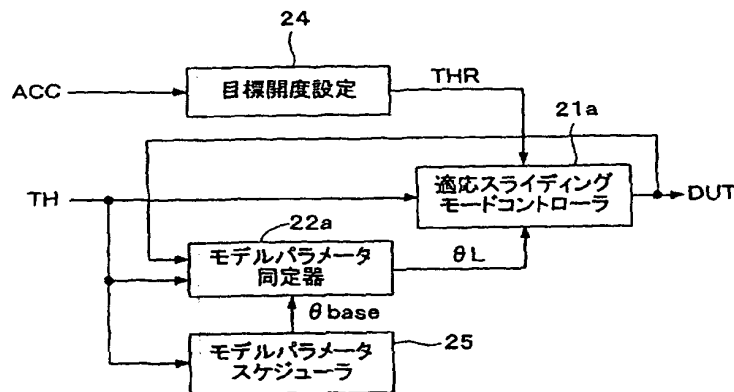
(10) 国際公開番号
WO 02/086630 A1

- (51) 国際特許分類: G05B 13/00 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 本田技研工業株式会社 (HONDA GIKEN KOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒107-0062 東京都港区南青山二丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/03895
- (22) 国際出願日: 2002 年 4 月 19 日 (19.04.2002) (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 安井 裕司 (YASUI, Yuji) [JP/JP]; 〒351-0113 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP). 岩城 喜久 (IWAKI, Yoshihisa) [JP/JP]; 〒351-0113 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP). 高橋 潤 (TAKAHASHI, Jun) [JP/JP]; 〒351-0113 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
 特願2001-123344 2001 年 4 月 20 日 (20.04.2001) JP
 特願2001-125648 2001 年 4 月 24 日 (24.04.2001) JP
 特願2001-146144 2001 年 5 月 16 日 (16.05.2001) JP
 特願2001-179926 2001 年 6 月 14 日 (14.06.2001) JP
 特願2001-184540 2001 年 6 月 19 日 (19.06.2001) JP
 特願2001-343998 2001 年 11 月 9 日 (09.11.2001) JP
- (74) 代理人: 新井 孝治 (ARAI, Koji); 〒110-0015 東京都台東区東上野3丁目33番8号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): BR, CA, CN, ID, IN, KR, US.

[続葉有]

(54) Title: PLANT CONTROL APPARATUS

(54) 発明の名称: プラントの制御装置



24...TARGET OPEN DEGREE SETTING

21a...ADAPTIVE SLIDING MODE CONTROLLER

22a...MODEL PARAMETER IDENTIFIER

25...MODEL PARAMETER SCHEDULER

(57) Abstract: A plant control apparatus stabilizing control when identifying a model parameter of a control object model obtained by modeling a plant to be controlled and performing sliding mode control by using the identified model parameter. A model parameter identifier (22) calculates a model parameter vector θ by adding an updating vector θ to a reference vector θ base of the model parameter. A past value of at least one of the elements of the updating vector θ is multiplied by a predetermined value greater than 0 and smaller than 1, thereby correcting the updating vector θ , and the updating vector θ after corrected is added to the reference vector θ base, so as to calculate the model parameter vector θ .

[続葉有]

WO 02/086630 A1



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約:

制御対象であるプラントをモデル化することにより得られる制御対象モデルのモデルパラメータの同定を行い、同定したモデルパラメータを用いてスライディングモード制御を行う場合の制御をより安定化するプラントの制御装置を提供する。モデルパラメータ同定器 (22) は、モデルパラメータの基準ベクトル (θ_{base}) に更新ベクトル ($d\theta$) を加算する形式でモデルパラメータベクトル (θ) の算出を行う。更新ベクトル ($d\theta$) の少なくとも1つの要素の過去値に0より大きく1より小さい所定値を乗算することにより、更新ベクトル ($d\theta$) を修正し、修正後の更新ベクトル ($d\theta$) を基準ベクトル (θ_{base}) に加算して、モデルパラメータベクトル θ を算出する。

明 細 書

発明の名称

プラントの制御装置

技術分野

本発明は、プラントの制御装置に関し、特にロバスト制御理論の一つであるスライディングモード制御理論を応用したスライディングモードコントローラによりプラントを制御するものに関する。

背景技術

スライディングモード制御理論を応用した制御装置は、例えば特開平 9 - 2 7 4 5 0 4 号公報に示されている。この公報には、スライディングモード制御理論における超平面を、制御状態量の収束状態に応じて設定する手法が提案されており、その手法により、スライディングモード制御の収束応答性や収束安定性の向上が図られている。

スライディングモードコントローラにより制御対象であるプラントの制御を行う場合、プラントをモデル化し、その制御対象モデルの特性を示すモデルパラメータを決定する必要がある。モデルパラメータとしては、予め定めた一定値を使用することもできるが、通常経年変化や外乱により、モデルパラメータの値は変化する。したがって、モデルパラメータをリアルタイムで同定するモデルパラメータ同定器を使用し、モデルパラメータ同定器により同定されたモデルパラメータを用いてスライディングモード制御を実行することが望ましい。

しかし、モデルパラメータ同定器は、同定したモデルパラメータを用いて算出されるプラントの出力と、実際のプラントの出力との偏差を同定誤差として検出し、同定誤差が 0 となるようにモデルパラメータを修正するものであるため、以下のような問題が発生する。

すなわち、プラントが有する非線形特性や平均値が 0 でない外乱が加わることなどに起因して、実際にはほぼ最適なモデルパラメータが得られているにも関わ

らず、同定誤差が0とならず、本来は不要なモデルパラメータの修正を行う場合がある。その結果、モデルパラメータが最適値から徐々にずれていってしまうドリフトが発生し、スライディングモードコントローラによる制御が不安定となる場合があった。

また、制御対象であるプラントをモデル化し、その制御対象モデルのモデルパラメータをパラメータ調整機構により算出し、このモデルパラメータを用いる適応制御器により、内燃機関に供給する混合気の空燃比を目標空燃比にフィードバック制御する空燃比制御装置が従来より知られている（例えば特開平11-73206号公報）。

この制御装置では、モデルパラメータの初期値に、モデルパラメータの同定誤差に応じて算出される更新成分を加算することにより、モデルパラメータが算出される。

しかしながら、モデルパラメータの初期値はプラントへの制御入力を算出する時点におけるプラントの状態量とは無関係に設定されるため、比較的短時間のうちにプラントの特性が変化する場合に、モデルパラメータが最適値に収束するまでの時間が長くなり、十分な制御性能を得られないことがあった。

また、スライディングモード制御理論を応用したスライディングモードコントローラは、例えば特開平9-274504号公報に示されている。この公報には、スライディングモード制御の安定性を判別し、スライディングモード制御が不安定と判別したときは、制御対象への制御入力として、スライディングモード制御が不安定と判別される前の算出値を用いる点が示されている。

また特開平11-93741号公報には、スライディングモード制御の安定性を判別し、スライディングモード制御が不安定と判別したときは、制御対象への制御入力を、予め定められた値に設定する点が示されている。

しかしながら、上述した従来手法では、スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、制御入力が固定されてしまうため、プラントの出力を制御目標値に収束させることができなくなってしまう。

また、上記特開平11-73206号公報に示される制御装置では、モデルパラメータの初期値に、モデルパラメータの同定誤差に応じて算出される更新成分

を加算することにより、モデルパラメータが算出される。

上記特開平 1 1 - 7 3 2 0 6 号公報に記載された装置では、外乱の影響によるモデルパラメータのドリフトは防止される。しかし、パラメータ調整機構により算出されたモデルパラメータが、そのまま適応制御器で使用されるため、適応制御器の安定性を維持する上で改善の余地があった。

また、プラントをモデル化することにより得られる制御対象モデルのモデルパラメータをリアルタイムで同定し、同定したモデルパラメータを用いてプラントを制御する制御装置は、例えば特開 2 0 0 0 - 1 7 9 3 8 4 号公報に示されている。

この公報に示された制御装置は、モデルパラメータを同定する同定器と、プラントの出力を推定する推定器と、同定器により同定されたモデルパラメータ及び推定器により推定されたプラント出力を用いてスライディングモード制御により、プラントへの制御入力を算出するスライディングモード制御器とを備えている。前記同定器及び推定器には、プラントの出力とその目標値との偏差、及びプラントの入力と基準値との偏差が入力され、前記基準値は、プラントへの入力を操作するための操作量に応じて可変的に設定される。前記基準値を操作量に応じて可変的に設定することにより、プラント出力を目標値へ収束させる制御における収束速度を高める効果が得られる。

しかしながら、上記特開 2 0 0 0 - 1 7 9 3 8 4 号公報に示される制御装置は、より具体的にはスライディングモード制御器で算出される適応制御入力に応じて前記基準値を設定する手法を採用しているため、この基準値設定手法は、適応スライディングモード制御を用いる制御装置にのみ適用可能なものであった。したがって、より汎用性の高い基準値設定手法が望まれていた。

また、車両に搭載される内燃機関のスロット弁をモータによって駆動するスロットル弁駆動装置は広く知られている。このスロットル弁駆動装置のスロットル弁の開度を、P I D（比例、積分、微分）制御により制御するスロットル弁開度制御装置において、P I D 制御定数を車両の運転状態に応じて設定する手法が、特開平 8 - 2 6 1 0 5 0 号公報に示されている。

しかしながら、制御対象であるスロットル弁駆動装置は、非線形特性を有する

ため、通常のPID制御では、スロットル弁開度の目標値への追従特性や制御精度、及び制御の安定性の面で十分な制御性能が得られなかった。

発明の開示

本発明の目的は、制御対象であるプラントをモデル化することにより得られる制御対象モデルのモデルパラメータの同定を行い、同定したモデルパラメータを用いてスライディングモード制御を行う場合の制御をより安定化することができるプラントの制御装置を提供することである。

本発明の他の目的は、比較的短時間のうちにプラントの特性が変化する場合においても、モデルパラメータを迅速に最適値に収束させ、良好な制御性を維持することができるプラントの制御装置を提供することである。

本発明の他の目的は、スライディングモード制御が不安定となったときに、制御目標値への制御を継続しつつ、スライディングモード制御を安定化するための適切な処理を行い、スライディングモード制御の安定性を向上させることができるプラントの制御装置を提供することである。

本発明の他の目的は、制御対象であるプラントをモデル化することにより得られる制御対象モデルのモデルパラメータを同定しつつ、そのモデルパラメータを使用する制御の安定性をより向上させることができるプラントの制御装置を提供することである。

本発明の他の目的は、プラントの入力または出力の基準値を用いて定義された制御対象モデルを使用する場合に、より汎用性の高い基準値設定を行い、制御性能を向上させることができるプラントの制御装置を提供することである。

本発明の他の目的は、スロットル弁開度の目標値への追従特性、制御精度及び制御の安定性を向上させることができるスロットル弁駆動装置の制御装置を提供することである。

上記目的を達成するため本発明は、同定手段と、スライディングモードコントローラとを備えるプラントの制御装置を提供する。同定手段は、プラントをモデル化することにより定義される制御対象モデルのモデルパラメータベクトル (θ) を、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する。スライディングモード

コントローラは、前記同定手段により同定されたモデルパラメータベクトルを用いて前記プラントを制御する。前記同定手段は、前記モデルパラメータベクトルの同定誤差 (ide) を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差に応じて更新ベクトル ($d\theta$) を算出する更新ベクトル算出手段と、該更新ベクトルの少なくとも1つの要素の過去値に0より大きく1より小さい所定値 (Δ_i 、 EPS_i) を乗算することにより、前記更新ベクトルを修正する更新ベクトル修正手段とを有し、前記モデルパラメータの基準ベクトル (θ_{base} 、 $\theta(0)$) に修正された更新ベクトルを加算することにより、前記モデルパラメータベクトルを算出する。

この構成によれば、モデルパラメータベクトルの同定誤差に応じて更新ベクトルが算出され、該更新ベクトルの少なくとも1つの要素の過去値に0より大きく1より小さい所定値を乗算することにより、更新ベクトルが修正され、モデルパラメータの基準ベクトルに修正された更新ベクトルを加算することにより、モデルパラメータベクトルが算出されるので、更新ベクトルの要素の値が制限され、モデルパラメータベクトルを基準ベクトル近傍に安定させることができる。その結果、モデルパラメータのドリフトが防止され、スライディングモード制御の安定性を向上させることができる。

好ましくは、前記更新ベクトル修正手段は、前記更新ベクトルの、前記プラントの入力に関わる要素 (b_1 の演算に関わる要素) または前記プラントの入出力に関わらない要素 (c_1 の演算に関わる要素) については、前記所定値を乗算しない。これにより、更新ベクトルの修正による定常偏差の発生を防止することができる。

好ましくは、前記更新ベクトル修正手段は、前記基準ベクトル ($\theta(0)$) の少なくとも1つの要素にも前記所定値 (EPS_i) を乗算する。この場合においても、モデルパラメータのドリフトが防止され、スライディングモード制御の安定性を向上させることができる。

本発明はさらに、同定手段及びスライディングモードコントローラを備える他のプラントの制御装置を提供する。同定手段は、プラントをモデル化することにより定義される制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを、前記プラントの

入力及び出力に基づいて同定する。スライディングモードコントローラは、前記同定手段により同定されたモデルパラメータベクトルを用いて前記プラントを制御する。前記同定手段は、前記モデルパラメータベクトルの同定誤差 (ide) を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差が所定の範囲内 ($-EIDNRLMT \leq ide \leq EIDNRLMT$) にあるときは、前記同定誤差を減少方向に修正する同定誤差修正手段とを有し、該同定誤差修正手段により修正された同定誤差 ($iden1$) を用いて前記モデルパラメータベクトルを算出する。

この構成によれば、モデルパラメータの同定誤差が所定の範囲内にあるときは、同定誤差が減少方向に修正され、該修正された同定誤差を用いてモデルパラメータベクトルが算出されるので、同定誤差がモデルパラメータに蓄積することが抑制され、モデルパラメータのドリフトを防止することができ、スライディングモード制御の安定性を向上させることができる。

好ましくは、前記同定誤差修正手段は、前記同定誤差が前記所定範囲内にあるときは、前記同定誤差を0とする。これにより、モデルパラメータの値に反映されるべきでない同定誤差の影響を無くし、モデルパラメータのドリフト防止効果を高めることができる。

好ましくは、前記所定範囲は、制御目標値 ($DTHR$) の変化量 ($DDTHR$) または前記プラントの出力 (DTH) に応じて設定する。これにより、寄与度を低減すべき同定誤差の範囲が適切なものとなり、モデルパラメータの値に反映させるべき同定誤差を、不要な誤差として低減または無視してしまうことを防止することができる。

好ましくは、前記同定手段は、固定ゲインアルゴリズムを用いて前記モデルパラメータベクトルの同定を行う。これにより、演算量を低減することができる。

好ましくは、前記同定誤差算出手段は、前記同定誤差のローパスフィルタ処理を行い、該処理後の同定誤差を出力する。

この構成によれば、ローパスフィルタ処理後の同定誤差を用いてモデルパラメータベクトルの同定が行われるので、制御対象モデルの周波数特性が、プラントの実際の周波数特性とより近いものとなり、制御のロバスト性を高め、制御をさらに安定化することができる。

好ましくは、前記プラントの制御装置は、前記プラントの出力の予測値（P R E D T H）を算出する予測手段をさらに備える。

この構成によれば、予測手段によりプラントの出力の予測値が算出されるので、むだ時間要素を有するプラントの制御を精度良く行うことができる。

好ましくは、前記予測手段は、前記同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて前記予測値の算出を行う。これにより、プラントの動特性が経時変化した場合や環境条件などによって変化した場合でも精度のよい予測値を算出することができる。

好ましくは、前記スライディングモードコントローラによる前記プラントへの制御入力は、適応則入力を含む。これにより、外乱やモデル化誤差（実際のプラントの特性と、モデル化した制御対象モデルの特性との差）があっても、良好な制御性を実現することができる。

好ましくは、前記プラントは、内燃機関のスロットル弁（3）と、該スロットル弁を駆動する駆動手段（6）とを有するスロットル弁駆動装置（10）を含み、前記スライディングモードコントローラは、前記スロットル弁の開度（T H）を目標開度（T H R）に一致させるように、前記スロットル弁駆動装置への制御入力を決定するパラメータ（D U T）を算出する。

この構成によれば、同定手段により同定された安定なモデルパラメータを用いて、スライディングモードコントローラにより、スロットル弁開度を目標開度に一致させる制御が行われるので、スロットル弁開度の目標開度への制御性を向上させ、しかも安定した制御を実現することができる。

好ましくは、前記プラントは、内燃機関（212）と、該機関に燃料を供給する燃料供給手段（211）とを有する機関システム（201）を含み、前記スライディングモードコントローラは、前記機関に供給される混合気の空燃比を目標空燃比に一致させるように、前記機関システムへの制御入力を決定するパラメータ（D K A F）を算出する。

この構成によれば、同定手段により同定された安定なモデルパラメータを用いて、スライディングモードコントローラにより、空燃比を目標空燃比に一致させる制御が行われるので、空燃比の目標空燃比への制御性を向上させ、しかも安定

した制御を実現することができる。

本発明はさらに、プラントをモデル化することにより定義される制御対象モデルのモデルパラメータ (θ) を、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて前記プラントを制御する制御手段とを備えたプラントの制御装置を提供する。前記同定手段は、前記プラントの状態量 (DTH) に応じて基準モデルパラメータ (θ_{base}) を算出する基準モデルパラメータ算出手段と、前記モデルパラメータの同定誤差 (ide) を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差に応じて更新成分 ($d\theta$) を算出する更新成分算出手段とを有し、該更新成分を前記基準モデルパラメータに加算することにより、前記モデルパラメータを算出する。

この構成によれば、モデルパラメータの同定誤差に応じて更新成分が算出され、プラントの状態量に応じて算出される基準モデルパラメータに更新成分を加算することにより、モデルパラメータが算出されるので、常に変化するプラントの状態量に応じた基準モデルパラメータを補正する形でモデルパラメータが算出され、従来の手法に比べて迅速に最適値に収束させることが可能となる。

好ましくは、前記プラントの状態量は、前記プラントの動特性変化を示すパラメータ、具体的には前記プラントの出力 (DTH、TH) あるいは前記プラント出力の制御目標値 (DTHR、THR) とする。これにより、プラントの動特性変化に応じた適切な基準モデルパラメータが得られる。その結果、特にプラントに非線形要素が含まれる場合でもモデルパラメータを迅速に収束させることができる。

好ましくは、前記制御手段は、スライディングモード制御により前記プラントを制御する。これにより、外乱や制御対象モデルのモデル化誤差 (実際のプラントの特性と、モデル化することにより定義される制御対象モデルの特性との差)、あるいは制御対象のむだ時間の存在下においても、良好な制御性を得ることができる。

好ましくは、前記制御手段による前記プラントへの制御入力、適応則入力を含む。これにより、外乱やモデル化誤差があっても、良好な制御性を実現することができる。

好ましくは、前記プラントは、内燃機関のスロットル弁と、該スロットル弁を駆動する駆動手段とを有するスロットル弁駆動装置を含み、前記制御手段は、前記スロットル弁の開度を目標開度に一致させるように、前記スロットル弁駆動装置への制御入力を決定するパラメータを算出する。

この構成によれば、同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて、スロットル弁開度を目標開度に一致させる制御が行われるので、スロットル弁開度の目標開度への制御性を向上させることができる。

さらに本発明は、スライディングモード制御によりプラントを制御するスライディングモードコントローラを備えたプラントの制御装置を提供する。前記スライディングモードコントローラは、前記プラントの出力と制御目標値との偏差に基づく線形関数である切換関数 (σ) の値を算出する切換関数値算出手段と、スライディングモード制御の安定判別を行う判別手段と、前記偏差に基づく偏差状態量を、前記切換関数値が0となる切換直線上に拘束するための等価制御入力 (U_{eq}) を算出する等価制御入力算出手段と、前記偏差状態量を前記切換直線上に載せるための到達則入力 (U_{rch}) を算出する到達則入力算出手段と、少なくとも前記等価制御入力 (U_{eq}) 及び前記到達則入力 (U_{rch}) を加算することにより、前記プラントへの制御入力 (U_{sl}) を算出する制御入力算出手段と、スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、前記等価制御入力 (U_{eq}) の絶対値を減少させる安定化手段とを備える。

この構成によれば、プラントの出力と制御目標値との偏差に基づく偏差状態量を、切換関数値が0となる切換直線上に拘束するための等価制御入力と、偏差状態量を切換直線上に載せるための到達則入力とを用いて、プラントへの制御入力が算出され、スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、等価制御入力の絶対値が減少される。スライディングモード制御が不安定化したときは、等価制御入力をもっとも大きな影響を受けるので、この絶対値を減少させることにより、制御目標値への制御を継続しつつ、スライディングモード制御を安定化することができる。

さらに本発明は、スライディングモード制御によりプラントを制御するスライディングモードコントローラを備えた他のプラントの制御装置を提供する。前記

スライディングモードコントローラは、前記プラントの出力と制御目標値との偏差に基づく線形関数である切換関数 (σ) の値を算出する切換関数値算出手段と、スライディングモード制御の安定判別を行う判別手段と、前記偏差に基づく偏差状態量を、前記切換関数値が 0 となる切換直線上に拘束するための等価制御入力 (U_{eq}) を算出する等価制御入力算出手段と、前記偏差状態量を前記切換直線上に載せるための到達則入力 (U_{rch}) を算出する到達則入力算出手段と、少なくとも前記等価制御入力 (U_{eq}) 及び前記到達則入力 (U_{rch}) を加算することにより、前記プラントへの制御入力 (U_{sl}) を算出する制御入力算出手段と、スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、前記到達則入力 (U_{rch}) の算出に用いる制御ゲイン (F) を、前記スライディングモード制御をより安定化する値 ($XKRCHSTB$) に変更する安定化手段を備える。

この構成によれば、プラントの出力と制御目標値との偏差に基づく偏差状態量を、切換関数値が 0 となる切換直線上に拘束するための等価制御入力と、偏差状態量を切換直線上に載せるための到達則入力と用いて、プラントへの制御入力算出され、スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、到達則入力の算出に用いる制御ゲインが、スライディングモード制御をより安定化する値に変更されるので、制御目標値への制御を継続しつつ、スライディングモード制御を安定化することができる。

好ましくは、前記スライディングモードコントローラは、前記偏差状態量を前記切換直線上に載せるための適応則入力 (U_{adp}) を算出する適応則入力算出手段を有し、前記制御入力算出手段は、前記等価制御入力 (U_{eq})、前記到達則入力 (U_{rch}) 及び前記適応則入力 (U_{adp}) を加算することにより、前記プラントへの制御入力 (U_{sl}) を算出する。

この構成によれば、等価制御入力及び到達則入力に、さらに適応則入力を加えて、プラントへの制御入力算出されるので、外乱やモデル化誤差（実際のプラントの特性と、モデル化することにより定義される制御対象モデルの特性との差）があっても、良好な制御性を実現することができる。

さらに本発明は、スライディングモード制御によりプラントを制御するスライディングモードコントローラを備えた他のプラントの制御装置を提供する。前記

スライディングモードコントローラは、前記プラントの出力と制御目標値との偏差に基づく線形関数である切換関数 (σ) の値を算出する切換関数値算出手段と、スライディングモード制御の安定判別を行う判別手段と、前記偏差に基づく偏差状態量を、前記切換関数値が 0 となる切換直線上に拘束するための等価制御入力 (U_{eq}) を算出する等価制御入力算出手段と、前記偏差状態量を前記切換直線上に載せるための到達則入力 (U_{rch}) を算出する到達則入力算出手段と、前記偏差状態量を前記切換直線上に載せるための適応則入力 (U_{adp}) を算出する適応則入力算出手段と、前記等価制御入力 (U_{eq})、前記到達則入力 (U_{rch}) 及び適応則入力 (U_{adp}) を加算することにより、前記プラントへの制御入力 (U_{sl}) を算出する制御入力算出手段と、スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、前記適応則入力 (U_{adp}) の算出に用いる制御ゲイン (G) を、前記スライディングモード制御をより安定化する値 ($X_{KADPSTB}$) に変更する安定化手段とを備える。

この構成によれば、プラントの出力と制御目標値との偏差に基づく偏差状態量を、切換関数値が 0 となる切換直線上に拘束するための等価制御入力と、偏差状態量を切換直線上に載せるための到達則入力と、偏差状態量を切換直線上に載せるための適応則入力とを用いて、プラントへの制御入力が算出され、スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、適応則入力の算出に用いる制御ゲインが、スライディングモード制御をより安定化する値に変更される。適応則入力を用いることにより、外乱やモデル化誤差があっても、良好な制御性を実現することができ、安定化手段により制御目標値への制御を継続しつつ、スライディングモード制御を安定化することができる。

さらに本発明は、スライディングモード制御によりプラントを制御するスライディングモードコントローラを備えた他のプラントの制御装置を提供する。前記スライディングモードコントローラは、前記プラントの出力と制御目標値との偏差に基づく線形関数である切換関数 (σ) の値を算出する切換関数値算出手段と、スライディングモード制御の安定判別を行う判別手段と、スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、前記スライディングモード制御の応答速度を低下させるように前記切換関数を変更 (V_{POLE} を変更) する安定化手段と

を備える。

この構成によれば、スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、スライディングモード制御の応答速度を低下させるように切換関数を変更されるので、制御目標値への制御を継続しつつ、スライディングモード制御を安定化することができる。

好ましくは、前記判別手段は、前記切換関数値 (σ) に基づいて前記安定判別を行う。切換関数の絶対値が増加傾向を示すときは、制御が不安定となっていることを意味するので、そのような傾向を切換関数値に基づいて判別することにより、スライディングモード制御の不安定状態を容易に判別することができる。

さらに本発明は、プラントをモデル化することにより定義される制御対象モデルのモデルパラメータを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて、スライディングモード制御により前記プラントを制御するスライディングモードコントローラとを備えたプラントの制御装置を提供する。前記スライディングモードコントローラは、スライディングモード制御の安定判別を行う判別手段と、スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、所定のモデルパラメータ (b 1) の使用を禁止する安定化手段とを備える。

この構成によれば、スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、所定のモデルパラメータ (b 1) の使用が禁止される。同定手段によるモデルパラメータの同定が不安定となった場合に、スライディングモード制御が不安定となるので、特に影響の大きい所定のモデルパラメータを使用しないことにより、制御目標値への制御を継続しつつ、スライディングモード制御を安定化することができる。

好ましくは、前記プラントは、内燃機関のスロットル弁と、該スロットル弁を駆動する駆動手段とを有するスロットル弁駆動装置を含み、前記スライディングモードコントローラは、前記スロットル弁の開度を目標開度に一致させるように、前記スロットル弁駆動装置への制御入力を決定するパラメータを算出する。

この構成によれば、ロバスト性の高いスライディングモード制御により、スロットル弁開度を目標開度に一致させる制御が行われるので、スロットル弁開度の

目標開度への制御性を向上させ、しかも安定した制御を実現することができる。

さらに本発明は、プラントをモデル化することにより定義される制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータベクトルを用いて前記プラントを制御する制御手段とを備えたプラントの制御装置を提供する。前記同定手段は、前記モデルパラメータベクトルの同定誤差 (ide) を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差に応じて更新ベクトル ($d\theta$) を算出する更新ベクトル算出手段と、前記同定誤差の過去値の影響を減少させるように前記更新ベクトルを修正する更新ベクトル修正手段と、前記モデルパラメータの基準ベクトル ($\theta base$ 、 $\theta(0)$) に修正された更新ベクトルを加算することにより、前記モデルパラメータベクトルを算出するモデルパラメータベクトル算出手段と、前記モデルパラメータベクトル算出手段により算出されるモデルパラメータベクトルの要素 ($a1$, $a2$, $b1$, $c1$) の値を、所定リミット範囲内に制限する制限手段とを有する。

この構成によれば、モデルパラメータベクトルの同定誤差に応じて更新ベクトルが算出され、同定誤差の過去値の影響を減少させるように更新ベクトルが修正され、モデルパラメータの基準ベクトルに修正された更新ベクトルを加算することにより、モデルパラメータベクトルが算出され、さらにモデルパラメータベクトルの要素の値が所定リミット範囲内に制限される。したがって、モデルパラメータのドリフトを防止しつつ、制御の安定性をより一層向上させることができる。

好ましくは、前記更新ベクトル算出手段は、固定ゲインアルゴリズムを用いて前記更新ベクトルの算出を行う。これにより、演算量を低減することができる。

好ましくは、前記更新ベクトル修正手段は、前記更新ベクトルの少なくとも1つの要素の過去値に0より大きく1より小さい所定値 ($DELTA_i$ 、 EPS_i) を乗算することにより、前記更新ベクトルの修正を行う。これにより、同定誤差の過去値の影響が減少し、モデルパラメータベクトルのドリフトを防止することができる。

好ましくは、前記更新ベクトル修正手段は、前記更新ベクトルの、前記プラン

トの入力に関わる要素（b 1の演算に関わる要素）または前記プラントの入出力に関わらない要素（c 1の演算に関わる要素）については、前記所定値（DELTA i、EPS i）を乗算しない。これにより、更新ベクトルの修正による定常偏差の発生を防止することができる。

好ましくは、前記更新ベクトル修正手段は、前記基準ベクトル（ $\theta(0)$ ）の少なくとも1つの要素にも前記所定値を乗算する。これにより、モデルパラメータベクトルのドリフトが防止される。

好ましくは、前記基準ベクトルは、前記プラントの動特性変化を示すパラメータ（DTH）に応じて算出される。これにより、プラントの動特性変化に応じた適切な基準ベクトルが得られる。その結果、特にプラントに非線形要素が含まれる場合でもモデルパラメータを迅速に収束させることができる。

さらに本発明は、プラントをモデル化することにより定義される制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータベクトルを用いて前記プラントを制御する制御手段とを備えたプラントの制御装置を提供する。前記同定手段は、前記モデルパラメータベクトルの同定誤差（ide）を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差が所定の範囲内（ $-EIDNRLMT \leq ide \leq EIDNRLMT$ ）にあるときは、前記同定誤差を減少方向に修正する同定誤差修正手段と、該同定誤差修正手段により修正された同定誤差（iden1）を用いて前記モデルパラメータベクトルを算出するモデルパラメータベクトル算出手段と、前記モデルパラメータベクトル算出手段により算出されるモデルパラメータベクトルの要素の値を、所定リミット範囲内に制限する制限手段とを有する。

この構成によれば、モデルパラメータの同定誤差が所定の範囲内にあるときは、同定誤差が減少方向に修正され、該修正された同定誤差を用いてモデルパラメータベクトルが算出され、さらにモデルパラメータベクトルの要素の値が所定リミット範囲内に制限される。したがって、モデルパラメータのドリフトを防止しつつ、制御の安定性をより一層向上させることができる。

好ましくは、前記制限手段は、前記モデルパラメータベクトルの複数の要素（

a 1, a 2) が所定の関係 (図 18) を満たすように、前記複数の要素の値を制限する。

この構成によれば、モデルパラメータベクトルの複数の要素が所定の関係を満たすように、複数の要素の値が制限されるので、そのモデルパラメータベクトルを用いる制御の安定性を向上させることができる。

好ましくは、前記同定誤差修正手段は、前記同定誤差 (i d e) が前記所定範囲内 ($-E I D N R L M T \leq i d e \leq E I D N R L M T$) にあるときは、前記同定誤差 (i d e) を 0 とする。これにより、モデルパラメータの値に反映されるべきでない同定誤差の影響を無くし、モデルパラメータのドリフト防止効果を高めることができる。

好ましくは、前記プラントは、内燃機関のスロットル弁と、該スロットル弁を駆動する駆動手段とを有するスロットル弁駆動装置を含み、前記制御手段は、前記スロットル弁の開度を目標開度に一致させるように、前記スロットル弁駆動装置への制御入力を決定するパラメータを算出する。

この構成によれば、同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて、スロットル弁開度を目標開度に一致させる制御が行われるので、スロットル弁開度の目標開度への制御性を向上させるとともに、スロットル弁開度制御の安定性を向上させることができる。

さらに本発明は、プラントを所定の基準値 (T H D E F) を用いてモデル化することにより得られる制御対象モデルの複数のモデルパラメータを同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて前記プラントを制御する制御手段とを備えたプラントの制御装置を提供する。前記複数のモデルパラメータは、前記プラントの入出力に関わらないモデルパラメータ (c 1) を含み、前記制御装置は、該プラントの入出力に関わらないモデルパラメータ (c 1) に基づいて前記所定の基準値 (T H D E F) を補正する補正手段を有する。

この構成によれば、制御対象モデルのモデルパラメータは、プラントの入出力に関わらないモデルパラメータを含み、該プラントの入出力に関わらないモデルパラメータに基づいて、所定の基準値が補正される。すなわち、制御対象モデルのモデルパラメータ自体により基準値が補正されるので、本発明は、制御装置が

どのような制御手法を用いるものであっても適用可能である。しかも、モデル化誤差（実際のプラントの特性と、制御対象モデルの特性との差）に直接影響を与える制御対象モデルの基準値を、実際のプラントの基準値に一致させることができるので、モデル化誤差を低減し、制御性能を向上させることができる。

好ましくは、前記補正手段は、前記プラントの入出力に関わらないモデルパラメータ（ c_1 ）を統計処理することにより補正值（ $thdefadp$ ）を算出し、該補正值によって前記所定の基準値（ $THDEF$ ）を補正する。

好ましくは、前記制御対象モデルは、前記プラントの出力に関わる第1のモデルパラメータ（ a_1 , a_2 ）と、前記プラントへの制御入力に関わる第2のモデルパラメータ（ b_1 ）と、前記制御入力及びプラントの出力のいずれにも関わらない第3のモデルパラメータ（ c_1 ）とによって定義される。

好ましくは、前記プラントは、内燃機関のスロットル弁（3）と、該スロットル弁を駆動する駆動手段（6）とを有するスロットル弁駆動装置（10）を含み、前記制御装置は、前記スロットル弁の開度（ TH ）を目標開度（ THR ）に一致させるように、前記スロットル弁駆動装置（10）への制御入力を決定するパラメータ（ DUT ）を算出する。

好ましくは、前記スロットル弁駆動装置（10）は、前記スロットル弁を閉弁方向に付勢する第1付勢手段（4）と、前記スロットル弁を開弁方向に付勢する第2付勢手段（5）とを備え、前記駆動手段（6）により前記スロットル弁を駆動しないときは、前記第1及び第2付勢手段（4, 5）により、前記スロットル弁をデフォルト開度（ $THDEF$ ）に維持するものであり、前記所定の基準値は、前記デフォルト開度（ $THDEF$ ）に設定する。

さらに本発明は、内燃機関のスロットル弁と、該スロットル弁を駆動する駆動手段とを備えるスロットル弁駆動装置を制御する制御装置を提供する。この制御装置は、前記スロットル弁駆動装置をモデル化することにより定義される制御対象モデルのモデルパラメータを同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータに基づいて、前記スロットル弁の開度を目標開度に制御する制御手段とを備える。前記同定手段は、前記モデルパラメータの同定誤差（ ide ）を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差が所定の範囲内（ $-EIDNR$

$LMT \leq ide \leq EIDNRLMT$) にあるときは、前記同定誤差を減少方向に修正する同定誤差修正手段とを有し、該同定誤差修正手段により修正された同定誤差を用いて前記モデルパラメータを算出し、前記所定範囲を前記スロットル弁の開度 (TH) または前記目標開度 (THR) に応じた値 (DDTHRSQA) に基づいて設定する。

この構成によれば、モデルパラメータの同定誤差が所定の範囲内にあるときは、同定誤差が減少方向に修正され、該修正された同定誤差を用いてモデルパラメータが算出されるので、同定誤差がモデルパラメータに蓄積することが抑制され、モデルパラメータのドリフトを防止することができ、制御の安定性を向上させることができる。さらに、前記所定範囲が、スロットル弁開度または目標開度に応じた値に基づいて設定されるので、寄与度合を低減すべき同定誤差の範囲が適切なものとなり、モデルパラメータの値に反映させるべき同定誤差を、不要な誤差として低減または無視してしまうことを防止することができる。

好ましくは、前記制御装置は、前記同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて、未来のスロットル弁開度の予測値 (PREDTHTH) を算出する予測手段をさらに備える。

この構成によれば、同定手段により同定されたモデルパラメータを用いてスロットル弁開度の予測値の算出が行われるので、スロットル弁駆動装置の動特性が経時変化した場合や環境条件などによって変化した場合でも精度のよい予測値を算出することができる。

好ましくは、前記制御手段は、前記同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて、スライディングモード制御により前記スロットル弁駆動装置を制御する。これにより、モデル化誤差があっても、スロットル弁開度の目標開度への制御性を向上させ、しかも安定した制御を実現することができる。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の一実施形態にかかる内燃機関のスロットル弁駆動装置と、その制御装置を示す図である。

図 2 A 及び 2 B は、図 1 に示すスロットル弁駆動装置の周波数特性を示す図で

ある。

図 3 は、図 1 の電子制御ユニット（E C U）により実現される機能を示す機能ブロック図である。

図 4 は、スライディングモードコントローラの制御特性と、切換関数設定パラメータ（V P O L E）の値との関係を示す図である。

図 5 は、スライディングモードコントローラの制御ゲイン（F，G）の設定範囲を示す図である。

図 6 A 及び 6 B は、モデルパラメータのドリフトを説明するための図である。

図 7 A－7 C は、同定誤差を修正する関数を示す図である。

図 8 は、スロットル弁のデフォルト開度ずれがモデルパラメータ（ c_1' ）に反映されることを説明するための図である。

図 9 は、スロットル弁開度制御処理のフローチャートである。

図 10 は、図 9 の処理において状態変数の設定を行う処理のフローチャートである。

図 11 は、図 9 の処理においてモデルパラメータ同定器の演算を実行する処理のフローチャートである。

図 12 は、図 11 の処理において同定誤差（ $i d e$ ）の演算を実行する処理のフローチャートである。

図 13 A 及び 13 B は、同定誤差（ $i d e$ ）のローパスフィルタ処理を説明するための図である。

図 14 は、図 12 の処理における不感帯処理のフローチャートである。

図 15 は、図 14 の処理で使用するテーブルを示す図である。

図 16 は、図 11 の処理におけるモデルパラメータベクトル（ θ ）の安定化処理のフローチャートである。

図 17 は、図 16 の処理におけるモデルパラメータ（ a_1' ， a_2' ）のリミット処理のフローチャートである。

図 18 は、図 16 の処理によるモデルパラメータの値の変化を説明するための図である。

図 19 は、図 16 の処理におけるモデルパラメータ（ b_1' ）のリミット処理

のフローチャートである。

図20は、図16の処理におけるモデルパラメータ ($c1'$) のリミット処理のフローチャートである。

図21は、図9の処理において状態予測器の演算を実行する処理のフローチャートである。

図22は、図9の処理において制御入力 (U_{s1}) の演算を実行する処理のフローチャートである。

図23は、図22の処理において予測切換関数値 (σ_{pre}) の演算を実行する処理のフローチャートである。

図24は、図23の処理において切換関数設定パラメータ (V_{POLE}) の演算を実行する処理のフローチャートである。

図25A－25Cは、図24の処理で使用するマップを示す図である。

図26は、図22の処理において予測切換関数値 (σ_{pre}) の積算値の演算を実行する処理のフローチャートである。

図27は、図22の処理において到達則入力 (U_{rch}) の演算を実行する処理のフローチャートである。

図28は、図22の処理において適応則入力 (U_{adp}) の演算を実行する処理のフローチャートである。

図29は、図9の処理においてスライディングモードコントローラの安定判別を実行する処理のフローチャートである。

図30は、図9の処理においてデフォルト開度ずれ ($t_{hdefadp}$) の演算を実行する処理のフローチャートである。

図31は、図1の電子制御ユニット (ECU) により実現される機能を示す機能ブロック図である (第2の実施形態)。

図32は、スロットル弁開度制御処理のフローチャートである (第2の実施形態)。

図33は、図32の処理においてモデルパラメータ同定器の演算を実行する処理のフローチャートである。

図34は、図33の処理で使用するテーブルを示す図である。

図 3 5 は、図 3 3 の処理において同定誤差 (i d e) の演算を実行する処理のフローチャートである。

図 3 6 は、図 3 2 の処理において制御入力 (U s l) の演算を実行する処理のフローチャートである。

図 3 7 は、図 3 6 の処理において切換閾数値 (σ) の演算を実行する処理のフローチャートである。

図 3 8 は、図 3 6 の処理において切換閾数値 (σ) の積算値の演算を実行する処理のフローチャートである。

図 3 9 は、図 3 6 の処理において到達則入力 (U r c h) の演算を実行する処理のフローチャートである。

図 4 0 は、図 3 6 の処理において適応則入力 (U a d p) の演算を実行する処理のフローチャートである。

図 4 1 は、図 3 2 の処理においてスライディングモードコントローラの安定判別を実行する処理のフローチャートである。

図 4 2 は、本発明の第 3 の実施形態に係る制御系の構成を示すブロック図である。

図 4 3 は、図 4 2 に示す構成の変形例を示すブロック図である。

図 4 4 は、本発明の第 4 の実施形態に係る制御系の構成を示すブロック図である。

図 4 5 は、図 4 4 に示す構成の変形例を示すブロック図である。

図 4 6 は、本発明の第 5 の実施形態に係る制御系の構成を示すブロック図である。

図 4 7 は、本発明の第 6 の実施形態に係る制御系の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

以下本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

(第 1 の実施形態)

図 1 は本発明の第 1 の実施形態にかかるスロットル弁制御装置の構成を示す図

である。内燃機関（以下「エンジン」という）1の吸気通路2には、スロットル弁3が設けられている。スロットル弁3には、該スロットル弁3を閉弁方向に付勢する第1付勢手段としてのリターンスプリング4と、該スロットル弁3を開弁方向に付勢する第2付勢手段としての弾性部材5とが取り付けられている。またスロットル弁3は、駆動手段としてのモータ6によりギヤ（図示せず）を介して駆動できるように構成されている。モータ6による駆動力がスロットル弁3に加えられない状態では、スロットル弁3の開度THは、リターンスプリング4の付勢力と、弾性部材5の付勢力とが釣り合うデフォルト開度THDEF（例えば5度）に保持される。

モータ6は、電子制御ユニット（以下「ECU」という）7に接続されており、その作動がECU7により制御される。スロットル弁3には、スロットル弁開度THを検出するスロットル弁開度センサ8が設けられており、その検出信号は、ECU7に供給される。

またECU7には、エンジン1が搭載された車両の運転者の要求出力を示すアクセルペダルの踏み込み量ACCを検出するアクセルセンサ9が接続されており、その検出信号がECU7に供給される。

ECU7は、スロットル弁開度センサ8及びアクセルセンサ9の検出信号が供給される入力回路、入力信号をディジタル信号に変換するAD変換回路、各種演算処理を実行する中央演算ユニット（CPU）、CPUが実行するプログラムやプログラムで参照されるマップやテーブルなどを格納するROMと演算結果を格納するRAMとからなるメモリ回路、及びモータ6に駆動電流を供給する出力回路を備えている。ECU7は、アクセルペダルの踏み込み量ACCに応じてスロットル弁3の目標開度THRを決定し、検出したスロットル弁開度THが目標開度THRと一致するようにモータ6の制御量DUTを決定し、制御量DUTに応じた電気信号をモータ6に供給する。

本実施形態では、スロットル弁3、リターンスプリング4、弾性部材5及びモータ6からなるスロットル弁駆動装置10を制御対象とし、該制御対象に対する入力をモータ6に印加する電気信号のデューティ比DUTとし、制御対象の出力をスロットル弁開度センサ8により検出されるスロットル弁開度THとする。

スロットル弁駆動装置 10 の応答周波数特性を実測すると、図 2 A 及び 2 B に実線で示すゲイン特性及び位相特性が得られる。そこで、下記式 (1) で定義されるモデルを制御対象モデルとして設定した。このモデルの応答周波数特性は、図 2 A 及び 2 B に破線で示すようになり、スロットル弁駆動装置 10 の特性に近似していることが確認されている。

$$DTH(k+1) = a1 \times DTH(k) + a2 \times DTH(k-1) + b1 \times DUT(k-d) + c1 \quad (1)$$

ここで、 k は離散化された時間を表すパラメータであり、 $DTH(k)$ は下記式 (2) により定義されるスロットル弁開度偏差量である。

$$DTH(k) = TH(k) - THDEF \quad (2)$$

ここで、 TH は検出したスロットル弁開度、 $THDEF$ は前記デフォルト開度である。

また式 (1) の $a1$, $a2$, $b1$, $c1$ は、制御対象モデルの特性を決めるモデルパラメータであり、 d はむだ時間である。

上記式 (1) で定義されるモデルは、適応制御の適用を容易にするために採用した、離散時間系の $DARX$ モデル (delayed autoregressive model with exogeneous input: 外部入力を持つ自己回帰モデル) である。

式 (1) においては、出力の偏差量 DTH に関わるモデルパラメータ $a1$, $a2$ 、入力のデューティ比 DUT に関わるモデルパラメータ $b1$ の他に、入出力に関わらないモデルパラメータ $c1$ が採用されている。このモデルパラメータ $c1$ は、デフォルト開度 $THDEF$ のずれやスロットル弁駆動装置に加わる外乱を示すパラメータである。すなわち、モデルパラメータ同定器により、モデルパラメータ $a1$, $a2$, $b1$ と同時にモデルパラメータ $c1$ を同定することにより、デフォルト開度ずれや外乱を同定できるようにしている。

図 3 は、ECU 7 により実現されるスロットル弁制御装置の機能ブロック図であり、この制御装置は、適応スライディングモードコントローラ 21 と、モデルパラメータ同定器 22 と、むだ時間 d が経過した後の予測スロットル弁開度偏差量 (以下「予測偏差量」という) $PREDTH(k)$ ($=DTH(k+d)$) を算出する状態予測器 23 と、アクセルペダル踏み込み量 ACC に応じてスロットル弁 3 の

目標開度THRを設定する目標開度設定部24とからなる。

適応スライディングモードコントローラ21は、検出したスロットル弁開度THが目標開度THRと一致するように、適応スライディングモード制御によりデューティ比DUTを算出し、該算出したデューティ比DUTを出力する。

適応スライディングモードコントローラ21を用いることにより、スロットル弁開度THの目標開度THRへの追従応答特性を、所定のパラメータ(VPOLE)を用いて適宜変更することが可能となり、その結果スロットル弁3を開弁位置から全閉位置に移動させる際の衝撃(スロットル全閉ストッパへの衝突)の回避、及びアクセル操作に対するエンジンレスポンスの可変性が可能となる。また、モデルパラメータの誤差に対する安定性を確保することが可能となる。

モデルパラメータ同定器22は、修正モデルパラメータベクトル θ_L ($\theta_L^T = [a_1, a_2, b_1, c_1]$)を算出し、適応スライディングモードコントローラ21に供給する。より具体的には、モデルパラメータ同定器22は、スロットル弁開度TH及びデューティ比DUTに基づいて、モデルパラメータベクトル θ を算出する。さらに、そのモデルパラメータベクトル θ に対してリミット処理を行うことにより修正モデルパラメータベクトル θ_L を算出し、該修正モデルパラメータベクトル θ_L を適応スライディングモードコントローラ21に供給する。このようにしてスロットル弁開度THを目標開度THRに追従させるために最適なモデルパラメータ a_1, a_2, b_1 が得られ、さらに外乱及びデフォルト開度THDEFのずれを示すモデルパラメータ c_1 が得られる。

リアルタイムでモデルパラメータを同定するモデルパラメータ同定器22を用いることにより、エンジン運転条件の変化への適応、ハードウェアの特性ばらつきの補償、電源電圧変動の補償、及びハードウェア特性の経年変化への適応が可能となる。

状態予測器23は、スロットル弁開度TH及びデューティ比DUTに基づいて、むだ時間d後のスロットル弁開度TH(予測値)、より具体的には予測偏差量PRE DTHを算出し、適応スライディングモードコントローラ21に供給する。予測偏差量PRE DTHを用いることにより、制御対象のむだ時間に対する制御系のロバスト性を確保し、特にむだ時間が大きいデフォルト開度THDEF近

傍での制御性を向上させることができる。

次に適応スライディングモードコントローラ 21 の動作原理を説明する。

先ず下記式 (3) により、目標値 $DTHR(k)$ を目標開度 $THR(k)$ とデフォルト開度 $THDEF$ との偏差量として定義する。

$$DTHR(k) = THR(k) - THDEF \quad (3)$$

ここで、スロットル弁開度偏差量 DTH と、目標値 $DTHR$ との偏差 $e(k)$ を下記式 (4) で定義すると、適応スライディングモードコントローラの切換関数値 $\sigma(k)$ は、下記式 (5) により設定される。

$$e(k) = DTH(k) - DTHR(k) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \sigma(k) &= e(k) + VPOL E \times e(k-1) \quad (5) \\ &= (DTH(k) - DTHR(k)) \\ &\quad + VPOL E \times (DTH(k-1) - DTHR(k-1)) \end{aligned}$$

ここで、 $VPOL E$ は、 -1 より大きく 1 より小さい値に設定される切換関数設定パラメータである。

縦軸を偏差 $e(k)$ とし、横軸を前回偏差 $e(k-1)$ として定義される位相平面上では、 $\sigma(k) = 0$ を満たす偏差 $e(k)$ と、前回偏差 $e(k-1)$ との組み合わせは、直線となるので、この直線は一般に切換直線と呼ばれる。スライディングモード制御は、この切換直線上の偏差 $e(k)$ の振る舞いに着目した制御であり、切換関数値 $\sigma(k)$ が 0 となるように、すなわち偏差 $e(k)$ と前回偏差 $e(k-1)$ の組み合わせが位相平面上の切換直線上に載るように制御を行い、外乱やモデル化誤差（実際のプラントの特性と、モデル化した制御対象モデルの特性との差）に対してロバストな制御を実現するものである。その結果、スロットル弁開度偏差量 DTH は、目標値 $DTHR$ に追従するように、良好なロバスト性を持って制御される。

また式 (5) の切換関数設定パラメータ $VPOL E$ の値を変更することにより、図 4 に示すように、偏差 $e(k)$ の減衰特性、すなわちスロットル弁開度偏差量 DTH の目標値 $DTHR$ への追従特性を変更することができる。具体的には、 $VPOL E = -1$ とすると、全く追従しない特性となり、切換関数設定パラメータ $VPOL E$ の絶対値を小さくするほど、追従速度を速めることができる。

スロットル弁制御装置においては、下記要求 A1 及び A2 が満たされることが

求められる。

A 1) スロットル弁 3 を全閉位置に移動させる際にスロットル全閉ストッパへの衝突を回避すること

A 2) デフォルト開度 $THDEF$ 近傍における非線形特性（リターンスプリング 4 の付勢力と弾性部材 5 の付勢力とが釣り合うことに起因する弾性特性の変化、モータ 6 とスロットル弁 3 と間に介装されたギヤのバックラッシ、デューティ比 DUT の変化してもスロットル弁開度が変化しない不感帯）に対する制御性を向上させること

そのため、スロットル弁の全閉位置近傍では、偏差 $e(k)$ の収束速度を低下させ、またデフォルト開度 $THDEF$ の近傍では、収束速度を高める必要がある。

スライディングモード制御によれば、切換関数設定パラメータ $VPOLE$ を変更することにより、容易に収束速度を変更できるので、本実施形態では、スロットル弁開度 TH 及び目標値 $DTHR$ の変化量 $DDTHR (= DTHR(k) - DTHR(k-1))$ に応じて、切換関数設定パラメータ $VPOLE$ を設定するようにした。これにより、上記要求 A 1 及び A 2 を満たすことができる。

上述したようにスライディングモード制御では、偏差 $e(k)$ と前回偏差 $e(k-1)$ の組み合わせ（以下「偏差状態量」という）を切換直線上に拘束することにより、偏差 $e(k)$ を指定した収束速度で、かつ外乱やモデル化誤差に対してロバストに、0 に収束させる。したがって、スライディングモード制御では、如何にして偏差状態量を切換直線に載せ、そこに拘束するかが重要となる。

そのような観点から、制御対象への入力（コントローラ出力） $DUT(k)$ ($Us1(k)$ と表記する) は、下記式 (6) に示すように、等価制御入力 $Ueq(k)$ 、到達則入力 $Urch(k)$ 及び適応則入力 $Uadp(k)$ の和として構成される。

$$\begin{aligned} DUT(k) &= Us1(k) \\ &= Ueq(k) + Urch(k) + Uadp(k) \quad (6) \end{aligned}$$

等価制御入力 $Ueq(k)$ は、偏差状態量を切換直線上に拘束するための入力であり、到達則入力 $Urch(k)$ は、偏差状態量を切換直線上へ載せるための入力であり、適応則入力 $Uadp(k)$ は、モデル化誤差や外乱の影響を抑制し、偏差状態量を切換直線へ載せるための入力である。以下各入力 $Ueq(k)$ 、 $Urch(k)$ 及び

$a d p(k)$ の算出方法を説明する。

等価制御入力 $U e q(k)$ は、偏差状態量を切換直線上に拘束するための入力であるから、満たすべき条件は下記式 (7) で与えられる。

$$\sigma(k) = \sigma(k+1) \quad (7)$$

式 (1) 並びに式 (4) 及び (5) を用いて式 (7) を満たすデューティ比 $D T(k)$ を求めると、下記式 (9) が得られ、これが等価制御入力 $U e q(k)$ となる。さらに、到達則入力 $U r c h(k)$ 及び適応則入力 $U a d p(k)$ を、それぞれ下記式 (10) 及び (11) により定義する。

$$\begin{aligned} DUT(k) &= \frac{1}{b1} \{ (1-a1-VPOLE) DTH(k+d) + (VPOLE-a2) DTH(k+d-1) \\ &\quad - c1 + DTHR(k+d+1) + (VPOLE-1) DTHR(k+d) \\ &\quad - VPOLE \times DTHR(k+d-1) \} \\ &= Ueq(k) \end{aligned} \quad (9)$$

$$Urch(k) = \frac{-F}{b1} \sigma(k+d) \quad (10)$$

$$Uadp(k) = \frac{-G}{b1} \sum_{i=0}^{k+d} \Delta T \sigma(i) \quad (11)$$

ここで、 F 及び G は、それぞれ到達則制御ゲイン及び適応則制御ゲインであり以下に述べるように設定される。また ΔT は、制御周期である。

上記式 (9) の演算には、むだ時間 d 経過後のスロットル弁開度偏差量 $DTH(k+d)$ 及び対応する目標値 $DTHR(k+d+1)$ が必要である。そこで、むだ時間 d 経後のスロットル弁開度偏差量 $DTH(k+d)$ として、状態予測器 23 により算出される予測偏差量 $PREDTH(k)$ を用い、目標値 $DTHR(k+d+1)$ として、最新の目標値 $DTHR$ を用いることとする。

次に到達則入力 $Urch$ 及び適応則入力 $Uadp$ により、偏差状態量が安定に切換直線上に載せられるように、到達則制御ゲイン F 及び適応則制御ゲイン G の定を行う。

具体的には外乱 $V(k)$ を想定し、外乱 $V(k)$ に対して切換関数値 $\sigma(k)$ が安定であるための条件を求めることにより、ゲイン F 及び G の設定条件を求める。その結

U a d p (k)の算出方法を説明する。

等価制御入力U e q (k)は、偏差状態量を切換直線上に拘束するための入力であるから、満たすべき条件は下記式(7)で与えられる。

$$\sigma(k) = \sigma(k+1) \quad (7)$$

式(1)並びに式(4)及び(5)を用いて式(7)を満たすデューティ比D U T (k)を求めると、下記式(9)が得られ、これが等価制御入力U e q (k)となる。さらに、到達則入力U r c h (k)及び適応則入力U a d p (k)を、それぞれ下記式(10)及び(11)により定義する。

$$\begin{aligned} DUT(k) &= \frac{1}{b1} \{ (1-a1-VPOLE) DTH(k+d) + (VPOLE-a2) DTH(k+d-1) \\ &\quad -c1 + DTHR(k+d+1) + (VPOLE-1) DTHR(k+d) \\ &\quad -VPOLE \times DTHR(k+d-1) \} \\ &= Ueq(k) \end{aligned} \quad (9)$$

$$Urch(k) = \frac{-F}{b1} \sigma(k+d) \quad (10)$$

$$Uadp(k) = \frac{-G}{b1} \sum_{i=0}^{k+d} \Delta T \sigma(i) \quad (11)$$

ここで、F及びGは、それぞれ到達則制御ゲイン及び適応則制御ゲインであり、以下に述べるように設定される。またΔTは、制御周期である。

上記式(9)の演算には、むだ時間d経過後のスロットル弁開度偏差量D T H (k+d)及び対応する目標値D T H R (k+d+1)が必要である。そこで、むだ時間d経過後のスロットル弁開度偏差量D T H (k+d)として、状態予測器23により算出される予測偏差量P R E D T H (k)を用い、目標値D T H R (k+d+1)として、最新の目標値D T H Rを用いることとする。

次に到達則入力U r c h及び適応則入力U a d pにより、偏差状態量が安定に切換直線上に載せられるように、到達則制御ゲインF及び適応則制御ゲインGの決定を行う。

具体的には外乱V(k)を想定し、外乱V(k)に対して切換関数値σ(k)が安定であるための条件を求めることにより、ゲインF及びGの設定条件を求める。その結

果、ゲインF及びGの組み合わせが、下記式(12)～(14)を満たすこと、換言すれば図5にハッチングを付して示す領域内にあることが安定条件として得られた。

$$F > 0 \quad (12)$$

$$G > 0 \quad (13)$$

$$F < 2 - (\Delta T / 2) G \quad (14)$$

以上のように、式(9)～(11)により、等価制御入力 $U_{eq}(k)$ 、到達則入力 $U_{rch}(k)$ 及び適応則入力 $U_{adp}(k)$ を算出し、それらの入力の総和として、デューティ比 $DUT(k)$ を算出することができる。

モデルパラメータ同定器22は、前述したように制御対象の入力($DUT(k)$)及び出力($TH(k)$)に基づいて、制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを算出する。具体的には、モデルパラメータ同定器22は、下記式(15)による逐次型同定アルゴリズム(一般化逐次型最小2乗法アルゴリズム)により、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出する。

$$\theta(k) = \theta(k-1) + KP(k) \, ide(k) \quad (15)$$

$$\theta(k)^T = [a1', a2', b1', c1'] \quad (16)$$

ここで、 $a1'$ 、 $a2'$ 、 $b1'$ 及び $c1'$ は、後述するリミット処理を実施する前のモデルパラメータである。また $ide(k)$ は、下記式(17)、(18)及び(19)により定義される同定誤差である。 $DTHHAT(k)$ は、最新のモデルパラメータベクトル $\theta(k-1)$ を用いて算出される、スロットル弁開度偏差量 $DTH(k)$ の推定値(以下「推定スロットル弁開度偏差量」という)である。 $KP(k)$ は、下記式(20)により定義されるゲイン係数ベクトルである。また、式(20)の $P(k)$ は、下記式(21)により算出される4次の正方行列である。

$$ide(k) = DTH(k) - DTHHAT(k) \quad (17)$$

$$DTHHAT(k) = \theta(k-1)^T \zeta(k) \quad (18)$$

$$\zeta(k)^T = [DTH(k-1), DTH(k-2), DUT(k-d-1), 1] \quad (19)$$

$$KP(k) = \frac{P(k) \zeta(k)}{1 + \zeta^T(k) P(k) \zeta(k)} \quad (20)$$

$$P(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left(\mathbb{I} - \frac{\lambda_2 P(k) \zeta(k) \zeta^T(k)}{\lambda_1 + \lambda_2 \zeta^T(k) P(k) \zeta(k)} \right) P(k) \quad (21)$$

(\mathbb{I} は単位行列)

式(21)の係数 λ_1 、 λ_2 の設定により、式(15)～(21)による同定アルゴリズムは、以下のような4つの同定アルゴリズムのいずれかになる。

$\lambda_1 = 1$ 、 $\lambda_2 = 0$ 固定ゲインアルゴリズム

$\lambda_1 = 1$ 、 $\lambda_2 = 1$ 最小2乗法アルゴリズム

$\lambda_1 = 1$ 、 $\lambda_2 = \lambda$ 漸減ゲインアルゴリズム (λ は0、1以外の所定値)

$\lambda_1 = \lambda$ 、 $\lambda_2 = 1$ 重み付き最小2乗法アルゴリズム (λ は0、1以外の所定値)

一方本実施形態では、下記B1)、B2)、B3)の要求を満たすことが求められる。

B1) 準静的動特性変化及びハードウェアの特性ばらつきに対する適応

「準静的動特性変化」とは、例えば電源電圧の変動やハードウェアの経年劣化といった変化速度の遅い特性変化を意味する。

B2) 速い動特性変化への適応

具体的には、スロットル弁開度THの変化に対応する動特性変化への適応を意味する。

B3) モデルパラメータのドリフト防止

モデルパラメータに反映すべきでない制御対象の非線形特性などに起因する同定誤差の影響によって引き起こされるドリフト、すなわちモデルパラメータの絶対値が増大することを防止する。

先ず上記B1)及びB2)の要求を満たすために、係数 λ_1 及び λ_2 をそれぞれ所定値 λ 及び「0」に設定することにより、重み付き最小2乗法アルゴリズムを採用する。

次にモデルパラメータのドリフトについて説明する。図6A及び6Bに示すよ

うに、モデルパラメータがある程度収束した後に、スロットル弁の摩擦特性などの非線形特性によって生じる残留同定誤差が存在したり、平均値がゼロでない外乱が定常的に加わるような場合には、残留同定誤差が蓄積し、モデルパラメータのドリフトを引き起こす。

このような残留同定誤差は、モデルパラメータの値に反映すべきものではないので、図7Aに示すような不感帯関数 F_{nl} を用いて不感帯処理を行う。具体的には、下記式(23)により、修正同定誤差 $idenl(k)$ を算出し、この修正同定誤差 $idenl(k)$ を用いてモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の算出を行う。すなわち、上記式(15)に代えて下記式(15a)を用いる。これにより、上記要求B3)を満たすことができる。

$$idenl(k) = F_{nl}(ide(k)) \quad (23)$$

$$\theta(k) = \theta(k-1) + KP(k) idenl(k) \quad (15a)$$

なお、不感帯関数 F_{nl} は、図7Aに示すものに限るものではなく、例えば図7Bに示すような不連続不感帯関数、または図7Cに示すような不完全不感帯関数を用いてもよい。ただし、不完全不感帯関数を用いた場合には、ドリフトを完全に防止することはできない。

また、残留同定誤差は、スロットル弁開度 TH の変動量に応じてその振幅が変化する。そこで、本実施形態では、図7A-7Cに示す不感帯の幅を定義する不感帯幅パラメータ $EIDNRLMT$ を、下記式(24)により算出される、目標スロットル弁開度 THR の変化量の二乗平均値 $DDTHRSQA$ に応じて設定する(具体的には、二乗平均値 $DDTHRSQA$ が増加するほど、不感帯幅パラメータ $EIDNRLMT$ が増加するように設定する)ようにしている。これにより、モデルパラメータの値に反映させるべき同定誤差を、残留同定誤差として無視してしまうことを防止することができる。式(24)の $DDTHR$ は、目標スロットル弁開度 THR の変化量であり、下記式(25)により算出される。

$$DDTHRSQA(k) = \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n DDTHR(i)^2 \quad (24)$$

$$\begin{aligned} DDTHR(k) &= DTHR(k) - DTHR(k-1) \\ &= THR(k) - THR(k-1) \end{aligned} \quad (25)$$

ここで、スロットル弁開度偏差量 DTH は目標値 $DTHR$ へ適応スライディングモードコントローラ21により制御されているため、同様に式(25)の目標値 $DTHR$ をスロットル弁開度偏差量 DTH へ変更し、スロットル弁開度偏差量 DTH の変化量 $DDTH$ を算出し、式(24)の $DDTHR$ を $DDTH$ に代えて得られる二乗平均値 $DDTHRSQA$ に応じて不感帯幅パラメータ $EIDNRLMT$ を設定することもできる。

また制御系のロバスト性をさらに高めるためには、適応スライディングモードコントローラ21をより安定化させることが有効である。そこで本実施形態では、前記式(15)により算出されたモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の各要素 $a1'$, $a2'$, $b1'$ 及び $c1'$ についてリミット処理を施し、修正モデルパラメータベクトル $\theta L(k)$ ($\theta L(k)^T = [a1, a2, b1, c1]$)を算出する。そして、適応スライディングモードコントローラ21は、修正モデルパラメータベクトル $\theta L(k)$ を用いて、スライディングモード制御を実行する。なおリミット処理の詳細については、フローチャートを参照して後述する。

次に状態予測器23による予測偏差量 $PREDTH$ の算出方法を説明する。

先ず下記式(26)～(29)により、マトリクス A 及び B と、ベクトル $X(k)$ 及び $U(k)$ を定義する。

$$A = \begin{bmatrix} a1 & a2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$B = \begin{bmatrix} b1 & c1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$X(k) = \begin{bmatrix} DTH(k) \\ DTH(k-1) \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$U(k) = \begin{bmatrix} DUT(k) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (29)$$

これらのマトリクスA, Bと、ベクトルX(k), U(k)を用いて、制御対象モデルを定義する前記式(1)を書き直すと、下記式(30)が得られる。

$$X(k+1) = A X(k) + B U(k-d) \quad (30)$$

式(30)からX(k+d)を求めると、下記式(31)が得られる。

$$X(k+d) = A^d X(k) + [A^{d-1}B \ A^{d-2}B \ \cdots \ AB \ B] \begin{bmatrix} U(k-1) \\ U(k-2) \\ \vdots \\ U(k-d) \end{bmatrix} \quad (31)$$

ここで、リミット処理前のモデルパラメータ $a1'$, $a2'$, $b1'$ 及び $c1'$ を用いてマトリクスA'及びB'を下記式(32)及び(33)により定義すると、予測ベクトルXHAT(k+d)は、下記式(34)で与えられる。

$$A' = \begin{bmatrix} a1' & a2' \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$B' = \begin{bmatrix} b1' & c1' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$XHAT(k+d) = A'^d X(k) + [A'^{d-1} B' \ A'^{d-2} B' \ \dots \ A' B' \ B'] \begin{bmatrix} U(k-1) \\ U(k-2) \\ \vdots \\ U(k-d) \end{bmatrix} \quad (34)$$

予測ベクトル $XHAT(k+d)$ の第 1 行の要素である $DTHHAT(k+d)$ が、予測偏差量 $PREDTH(k)$ であり、下記式 (35) で与えられる。

$$\begin{aligned} PREDTH(k) &= DTHHAT(k+d) \\ &= \alpha 1 \times DTH(k) + \alpha 2 \times DTH(k-1) \\ &\quad + \beta 1 \times DUT(k-1) + \beta 2 \times DUT(k-2) + \dots + \beta d \times DUT(k-d) \\ &\quad + \gamma 1 + \gamma 2 + \dots + \gamma d \end{aligned} \quad (35)$$

ここで、 $\alpha 1$ はマトリクス A'^d の 1 行 1 列要素、 $\alpha 2$ はマトリクス A'^d の 1 行 2 列要素、 βi はマトリクス $A'^{d-i} B'$ の 1 行 1 列要素、 γi はマトリクス $A'^{d-i} B'$ の 1 行 2 列要素である。

式 (35) により算出される予測偏差量 $PREDTH(k)$ を、前記式 (9) に適用し、さらに目標値 $DTHR(k+d+1)$ 、 $DTHR(k+d)$ 、及び $DTHR(k+d-1)$ をそれぞれ $DTHR(k)$ 、 $DTHR(k-1)$ 、及び $DTHR(k-2)$ に置き換えることにより、下記式 (9a) が得られる。式 (9a) により、等価制御入力 $Ueq(k)$ を算出する。

$$\begin{aligned} DUT(k) &= \frac{1}{b1} \{ (1 - a1 - VPOLE) PREDTH(k) \\ &\quad + (VPOLE - a2) PREDTH(k-1) - c1 + DTHR(k) \\ &\quad + (VPOLE - 1) DTHR(k-1) - VPOLE \times DTHR(k-2) \} \\ &= Ueq(k) \end{aligned} \quad (9a)$$

また、式(35)により算出される予測偏差量 $PREDTH(k)$ を用いて、下記式(36)により予測切替関数値 $\sigma pre(k)$ を定義し、到達則入力 $Urch(k)$ 及び適応則入力 $Uadp(k)$ を、それぞれ下記式(10a)及び(11a)により算出する。

$$\begin{aligned} \sigma pre(k) = & (PREDTH(k) - DTHR(k-1)) \\ & + VPOLE (PREDTH(k-1) - DTHR(k-2)) \quad (36) \end{aligned}$$

$$Urch(k) = \frac{-F}{b1} \sigma pre(k) \quad (10a)$$

$$Uadp(k) = \frac{-G}{b1} \sum_{i=0}^k \Delta T \sigma pre(i) \quad (11a)$$

次にモデルパラメータ $c1'$ は、前述したように、デフォルト開度 $THDEF$ のずれ及び外乱を示すパラメータである。したがって、図8に示すように、外乱によって変動するが、デフォルト開度ずれは比較的短い期間内でみればほぼ一定とみなせる。そこで、本実施形態では、モデルパラメータ $c1'$ を統計処理し、その変動の中心値をデフォルト開度ずれ $thdefadp$ として算出し、スロットル弁開度偏差量 DTH 及び目標値 $DTHR$ の算出に用いることとした。

統計処理の手法には、一般に最小2乗法が知られているが、この最小2乗法による統計処理は、通常、ある一定期間内のデータ、すなわち同定されたモデルパラメータ $c1'$ をすべてメモリに格納しておき、ある時点で一括演算を行うことによって実行される。ところが、この一括演算法では、すべてのデータを格納するために膨大な容量のメモリが必要となり、さらに逆行列演算が必要となって演算量の増大を招く。

そこで本実施形態では、前記式(15)～(21)で示される適応制御の逐次型最小2乗法アルゴリズムを、統計処理に応用し、モデルパラメータ $c1$ の最小2乗中心値を、デフォルト開度ずれ $thdefadp$ として算出するようにしている。

具体的には、前記式(15)～(21)の $\theta(k)$ 及び $\theta(k)'$ を $thdefadp$ に置換し、 $\zeta(k)$ 及び $\zeta(k)'$ を「1」に置換し、 $ide(k)$ を $ec1(k)$ に置換し、

KP(k)をKPTH(k)に置換し、P(k)をPTH(k)に置換し、 λ_1 及び λ_2 をそれぞれ λ_1' 及び λ_2' に置換することにより、下記式(37)～(40)を得る。

$$\text{thdefadp}(k+1) = \text{thdefadp}(k) + \text{KPTH}(k) \text{ec1}(k) \quad (37)$$

$$\text{KPTH}(k) = \frac{\text{PTH}(k)}{1 + \text{PTH}(k)} \quad (38)$$

$$\text{PTH}(k+1) = \frac{1}{\lambda_1'} \left(1 - \frac{\lambda_2' \text{PTH}(k)}{\lambda_1' + \lambda_2' \text{PTH}(k)} \right) \text{PTH}(k) \quad (39)$$

$$\text{ec1}(k) = c1'(k) - \text{thdefadp}(k) \quad (40)$$

係数 λ_1' 及び λ_2' の設定により、前述した4つのアルゴリズムの何れかを選択可能であるが、式(39)においては、係数 λ_1' を0または1以外の所定値に設定し、係数 λ_2' を1に設定することにより、重み付き最小2乗法を採用した。

上記式(37)～(40)の演算においては、記憶すべき値は $\text{thdefadp}(k+1)$ 及び $\text{PTH}(k+1)$ のみであり、また逆行列演算は不要である。したがって、逐次型最小2乗法アルゴリズムを採用することにより、一般的な最小2乗法の欠点を克服しつつ、最小2乗法によるモデルパラメータ c_1 の統計処理を行うことができる。

統計処理の結果得られるデフォルト開度ずれ thdefadp は、前記式(2)及び(3)に適用され、式(2)及び(3)に代えて下記式(41)及び(42)により、スロットル弁開度偏差量 $\text{DTH}(k)$ 及び目標値 $\text{DTHR}(k)$ が算出される。

$$\text{DTH}(k) = \text{TH}(k) - \text{THDEF} + \text{thdefadp} \quad (41)$$

$$\text{DTHR}(k) = \text{THR}(k) - \text{THDEF} + \text{thdefadp} \quad (42)$$

式(41)及び(42)を使用することにより、デフォルト開度 THDEF が、ハードウェアの特性ばらつき、あるいは経時変化により、設計値からずれた場合でも、そのずれを補償して正確な制御を行うことができる。

次に上述した適応スライディングモードコントローラ21、モデルパラメータ

同定器 22 及び状態予測器 23 の機能を実現するための、ECU7のCPUにおける演算処理を説明する。

図9は、スロットル弁開度制御の全体フローチャートであり、この処理は所定時間（例えば2msec）毎にECU7のCPUで実行される。

ステップS11では、図10に示す状態変数設定処理を実行する。すなわち、式(41)及び(42)の演算を実行し、スロットル弁開度偏差量 $DT_H(k)$ 及び目標値 $DT_{HR}(k)$ を算出する（図10、ステップS21及びS22）。なお、今回値であることを示す (k) は、省略して示す場合がある。

ステップS12では、図11に示すモデルパラメータ同定器の演算、すなわち前記式(15a)によるモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の算出処理を実行し、さらにリミット処理を実行して修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ を算出する。

続くステップS13では、図21に示す状態予測器の演算を実行し、予測偏差量 $PREDTH(k)$ を算出する。

次いでステップS12で算出した修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ を用いて、図22に示す制御入力 $U_{s1}(k)$ の演算処理を実行する（ステップS14）。すなわち、等価制御入力 U_{eq} 、到達則入力 $U_{rch}(k)$ 及び適応則入力 $U_{adp}(k)$ を算出し、それらの入力の総和として、制御入力 $U_{s1}(k)$ （＝デューティ比 $DUT(k)$ ）を算出する。

続くステップS16では、図29に示すスライディングモードコントローラの安定判別処理を実行する。すなわち、リアプノフ関数の微分値に基づく安定判別を行い、安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ の設定を行う。この安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ は、「1」に設定されると適応スライディングモードコントローラ21が不安定となっていることを示す。安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ が「1」に設定され、適応スライディングモードコントローラ21が不安定となったときは、切換関数設定パラメータ $VPOL$ Eを安定化所定値 $XPOL$ ESTBに設定する（図24、ステップS231、S232参照）とともに、等価制御入力 U_{eq} を「0」とし、到達則入力 U_{rch} 及び適応則入力 U_{adp} のみによる制御に切り換えることにより、制御の安定化を図る（図22、ステップS206、S208参照）。適応スライディングモードコントローラ21が不安定となった

ときは、さらに到達則入力 U_{rch} 及び適応則入力 U_{adp} の算出式を変更する。すなわち、到達則制御ゲイン F 及び適応則制御ゲイン G の値を、コントローラ 21 を安定化させる値に変更するとともに、モデルパラメータ b_1 を使用しないで、到達則入力 U_{rch} 及び適応則入力 U_{adp} を算出する（図 27、28 参照）。以上のような安定化処理により、適応スライディングモードコントローラ 21 の不安定状態を早期に終息させ、安定な状態に戻ることができる。

ステップ S17 では、図 30 に示す $t_{hdefadp}$ 算出処理を実行し、デフォルト開度 $t_{hdefadp}$ を算出する。

図 11 は、モデルパラメータ同定器 22 の演算処理のフローチャートである。

ステップ S31 では、式 (20) によりゲイン係数ベクトル $K_P(k)$ を算出し、次いで式 (18) により推定スロットル弁開度偏差量 $D_{THHAT}(k)$ を算出する（ステップ S32）。ステップ S33 では、図 12 に示す $i_{den1}(k)$ の演算処理を実行し、ステップ S32 で算出した推定スロットル弁開度偏差量 $D_{THHAT}(k)$ を、式 (17) に適用して同定誤差 $i_{de}(k)$ を算出するとともに、図 7A に示す関数を用いた不感帯処理を行い、修正同定誤差 i_{den1} を算出する。

続くステップ S34 では、式 (15a) により、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出し、次いでモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の安定化処理を実行する（ステップ S35）。すなわち各モデルパラメータのリミット処理を行って修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ を算出する。

図 12 は、図 11 のステップ S33 で実行される $i_{den1}(k)$ 演算処理のフローチャートである。

ステップ S51 では、式 (17) により同定誤差 $i_{de}(k)$ を算出する。次いで、ステップ S53 でインクリメントされるカウンタ $CNTIDST$ の値が、制御対象のむだ時間 d に応じて設定される所定値 $X_{CNTIDST}$ （例えば、むだ時間 $d=2$ に対応して、「3」に設定される）より大きいかなんかを判別する（ステップ S52）。カウンタ $CNTIDST$ の初期値は「0」であるので、最初はステップ S53 に進み、カウンタ $CNTIDST$ を「1」だけインクリメントし、同定誤差 $i_{de}(k)$ を「0」に設定して（ステップ S54）、ステップ S55 に進む。モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の同定を開始した直後は、式 (17) による

演算で正しい同定誤差が得られないので、ステップS 5 2～S 5 4により、式（1 7）による演算結果を用いずに同定誤差 $ide(k)$ を「0」に設定するようにしている。

ステップS 5 2の答が肯定（YES）となると、直ちにステップS 5 5に進む。

ステップS 5 5では、同定誤差 $ide(k)$ のローパスフィルタ処理を行う。具体的には、ローパス特性を有する制御対象のモデルパラメータを同定する場合、最小2乗同定アルゴリズムの、同定誤差 $ide(k)$ に対する同定重みは、図1 3 Aに実線L 1で示すような周波数特性を有するが、これをローパスフィルタ処理により、破線L 2で示すように高周波成分を減衰させた特性とする。これは、以下の理由による。

ローパス特性を有する実際の制御対象及びこれをモデル化した制御対象モデルの周波数特性は、それぞれ図1 3 Bに実線L 3及びL 4で示すようになる。すなわち、ローパス特性（高周波成分が減衰する特性）を有する制御対象について、モデルパラメータ同定器2 2によりモデルパラメータを同定すると、同定されたモデルパラメータは高周波域阻止特性に大きく影響されたものとなるため、低周波域での制御対象モデルの低域ゲインが実際の特性より低くなる。その結果、スライディングモードコントローラ2 1による制御入力の補正が過補正となる。

そこで、ローパスフィルタ処理により同定アルゴリズムの重みの周波数特性を、図1 3 Aに破線L 2で示すような特性とすることにより、制御対象モデルの周波数特性を、図1 3 Bに破線L 5で示すような特性とし、実際の周波数特性と一致させ、あるいは制御対象モデルの低域ゲインが実際のゲインよりやや高くなるように修正することとした。これにより、コントローラ2 1による過補正を防止し、制御系のロバスト性を高めて制御系をより安定化させることができる。

なお、ローパスフィルタ処理は、同定誤差の過去値 $ide(k-i)$ （例えば $i=1 \sim 10$ に対応する10個の過去値）をリングバッファに記憶し、それらの過去値に重み係数を乗算して加算することにより実行する。

さらに、同定誤差 $ide(k)$ は、前記式（1 7）、（1 8）及び（1 9）を用いて算出しているため、スロットル弁開度偏差量 $DT H(k)$ と、推定スロットル弁開

度偏差量 $DT_{HHAT}(k)$ とに同様のローパスフィルタ処理を行うこと、あるいは、スロットル弁開度偏差量 $DT_H(k-1)$ 及び $DT_H(k-2)$ と、デューティ比 $DU_T(k-d-1)$ とに同様のローパスフィルタ処理を行うことによっても同様の効果が得られる。

図12に戻り、続くステップS56では、図14に示す不感帯処理を実行する。図14のステップS61では、前記式(24)において例えば $n=5$ として、目標スロットル弁開度 THR の変化量の二乗平均値 $DDTHR_{SQA}$ を算出し、次いで二乗平均値 $DDTHR_{SQA}$ に応じて図15に示す $EIDNRLMT$ テーブルを検索し、不感帯幅パラメータ $EIDNRLMT$ を算出する(ステップS62)。

ステップS63では、同定誤差 $ide(k)$ が不感帯幅パラメータ $EIDNRLMT$ より大きいか否かを判別し、 $ide(k) > EIDNRLMT$ であるときは、下記式(43)により、修正同定誤差 $iden1(k)$ を算出する(ステップS67)。

$$iden1(k) = ide(k) - EIDNRLMT \quad (43)$$

ステップS63の答が否定(NO)であるときは、さらに同定誤差 $ide(k)$ が不感帯幅パラメータ $EIDNRLMT$ に負号を付した値より小さいか否かを判別し(ステップS64)、 $ide(k) < -EIDNRLMT$ であるときは、下記式(44)により、修正同定誤差 $iden1(k)$ を算出する(ステップS65)。

$$iden1(k) = ide(k) + EIDNRLMT \quad (44)$$

また同定誤差 $ide(k)$ が $\pm EIDNRLMT$ の範囲内にあるときは、修正同定誤差 $iden1(k)$ を「0」とする(ステップS66)。

図16は、図11のステップS35で実行される $\theta(k)$ の安定化処理のフローチャートである。

ステップS71では、この処理で使用されるフラグ $FA1STAB$, $FA2STAB$, $FB1LMT$ 及び $FC1LMT$ をそれぞれ「0」に設定することにより、初期化を行う。そして、ステップS72では、図17に示す $a1'$ 及び $a2'$ のリミット処理を実行し、ステップS73では、図19に示す $b1'$ のリミット処理を実行し、ステップS74では、図20に示す $c1'$ のリミット処理を実行する。

図17は、図16のステップS72で実行される a_1' 及び a_2' のリミット処理のフローチャートである。図18は、図17の処理を説明するための図であり、図17とともに参照する。

図18においては、リミット処理が必要なモデルパラメータ a_1' と a_2' の組み合わせが「×」で示され、また安定なモデルパラメータ a_1' 及び a_2' の組み合わせの範囲がハッチングを付した領域（以下「安定領域」という）で示されている。図17の処理は、安定領域外にあるモデルパラメータ a_1' 及び a_2' の組み合わせを、安定領域内（「○」で示す位置）に移動させる処理である。

ステップS81では、モデルパラメータ a_2' が、所定 a_2 下限値 $XIDA2L$ 以上か否かを判別する。所定 a_2 下限値 $XIDA2L$ は、「-1」より大きい、負の値に設定される。所定 a_2 下限値 $XIDA2L$ は、「-1」に設定しても、安定な修正モデルパラメータ a_1 、 a_2 が得られるが、前記式(26)で定義される行列 A の n 乗が不安定となる（これは、 a_1' 及び a_2' が発散はしないが振動することを意味する）場合があるので、「-1」より大きな値に設定される。

ステップS81で $a_2' < XIDA2L$ であるときは、修正モデルパラメータ a_2 を、この下限値 $XIDA2L$ に設定するとともに、 a_2 安定化フラグ $FA2STAB$ を「1」に設定する。 a_2 安定化フラグ $FA2STAB$ は「1」に設定されると、修正モデルパラメータ a_2 を下限値 $XIDA2L$ に設定したことを示す。図18においては、ステップS81及びS82のリミット処理P1によるモデルパラメータの修正が、「P1」を付した矢線（矢印を付した線）で示されている。

ステップS81の答が肯定（YES）、すなわち $a_2' \geq XIDA2L$ であるときは、修正モデルパラメータ a_2 はモデルパラメータ a_2' に設定される（ステップS83）。

ステップS84及びステップS85では、モデルパラメータ a_1' が、所定 a_1 下限値 $XIDA1L$ と所定 a_1 上限値 $XIDA1H$ で定まる範囲内にあるか否かを判別する。所定 a_1 下限値 $XIDA1L$ は、-2以上且つ0より小さい値に設定され、所定 a_1 上限値 $XIDA1H$ は、例えば2に設定される。

ステップS 8 4及びS 8 5の答がいずれも肯定 (YES) であるとき、すなわち $XIDA1L \leq a1' \leq XIDA1H$ であるときは、修正モデルパラメータ $a1$ はモデルパラメータ $a1'$ に設定される (ステップS 8 8)。

一方 $a1' < XIDA1L$ であるときは、修正モデルパラメータ $a1$ を下限値 $XIDA1L$ に設定するとともに、 $a1$ 安定化フラグ $FA1STAB$ を「1」に設定する (ステップS 8 4, S 8 6)。また $a1' > XIDA1H$ であるときは、修正モデルパラメータ $a1$ を上限値 $XIDA1H$ に設定するとともに、 $a1$ 安定化フラグ $FA1STAB$ を「1」に設定する (ステップS 8 5, S 8 7)。 $a1$ 安定化フラグ $FA1STAB$ は、「1」に設定されると、修正モデルパラメータ $a1$ を下限値 $XIDA1L$ または上限値 $XIDA1H$ に設定したことを示す。図1 8においては、ステップS 8 4～S 8 7のリミット処理P 2によるモデルパラメータの修正が、「P 2」を付した矢線で示されている。

ステップS 9 0では、修正モデルパラメータ $a1$ の絶対値と修正モデルパラメータ $a2$ の和が、所定安定判定値 $XA2STAB$ 以下であるか否かを判別する。所定安定判定値 $XA2STAB$ は、「1」に近く「1」より小さい値 (例えば0.99) に設定される。

図1 8に示す直線L 1及びL 2は、下記式 (4 5) を満たす直線である。

$$a2 + |a1| = XA2STAB \quad (45)$$

したがって、ステップS 9 0は、修正モデルパラメータ $a1$ 及び $a2$ の組み合わせが、図1 8に示す直線L 1及びL 2の線上またはその下側にあるか否かを判別している。ステップS 9 0の答が肯定 (YES) であるときは、修正モデルパラメータ $a1$ 及び $a2$ の組み合わせは、図1 8の安定領域内にあるので、直ちに本処理を終了する。

一方ステップS 9 0の答が否定 (NO) であるときは、修正モデルパラメータ $a1$ が、所定安定判定値 $XA2STAB$ から所定 $a2$ 下限値 $XIDA2L$ を減算した値 ($XIDA2L < 0$ であるので、 $XA2STAB - XIDA2L > XA2STAB$ が成立する) 以下か否かを判別する (ステップS 9 1)。そして修正モデルパラメータ $a1$ が ($XA2STAB - XIDA2L$) 以下であるときは、修正モデルパラメータ $a2$ を ($XA2STAB - |a1|$) に設定するとともに、

a 2 安定化フラグ F A 2 S T A B を「1」に設定する（ステップ S 9 2）。

ステップ S 9 1 で修正モデルパラメータ a 1 が (X A 2 S T A B - X I D A 2 L) より大きいときは、修正モデルパラメータ a 1 を (X A 2 S T A B - X I D A 2 L) に設定し、修正モデルパラメータ a 2 を所定 a 2 下限値 X I D A 2 L に設定するとともに、a 1 安定化フラグ F A 1 S T A B 及び a 2 安定化フラグ F A 2 S T A B をともに「1」に設定する（ステップ S 9 3）。

図 1 8 においては、ステップ S 9 1 及び S 9 2 のリミット処理 P 3 によるモデルパラメータの修正が、「P 3」を付した矢線で示されており、またステップ S 9 1 及び S 9 3 のリミット処理 P 4 によるモデルパラメータの修正が、「P 4」を付した矢線で示されている。

以上のように図 1 7 の処理により、モデルパラメータ a 1' 及び a 2' が図 1 8 に示す安定領域内に入るようにリミット処理が実行され、修正モデルパラメータ a 1 及び a 2 が算出される。

図 1 9 は、図 1 6 のステップ S 7 3 で実行される b 1' のリミット処理のフローチャートである。

ステップ S 1 0 1 及び S 1 0 2 では、モデルパラメータ b 1' が、所定 b 1 下限値 X I D B 1 L と所定 b 1 上限値 X I D B 1 H できまる範囲内にあるか否かを判別する。所定 b 1 下限値 X I D B 1 L は、正の所定値（例えば 0. 1）に設定され、所定 b 1 上限値 X I D B 1 H は、例えば「1」に設定される。

ステップ S 1 0 1 及び S 1 0 2 の答がいずれも肯定 (Y E S) であるとき、すなわち $X I D B 1 L \leq b 1' \leq X I D B 1 H$ であるときは、修正モデルパラメータ b 1 はモデルパラメータ b 1' に設定される（ステップ S 1 0 5）。

一方 $b 1' < X I D B 1 L$ であるときは、修正モデルパラメータ b 1 を下限値 X I D B 1 L に設定するとともに、b 1 リミットフラグ F B 1 L M T を「1」に設定する（ステップ S 1 0 1, S 1 0 4）。また $b 1' > X I D B 1 H$ であるときは、修正モデルパラメータ b 1 を上限値 X I D B 1 H に設定するとともに、b 1 リミットフラグ F B 1 L M T を「1」に設定する（ステップ S 1 0 2, S 1 0 3）。b 1 リミットフラグ F B 1 L M T は、「1」に設定されると、修正モデルパラメータ b 1 を下限値 X I D B 1 L または上限値 X I D B 1 H に設定したこと

を示す。

図20は、図16のステップS74で実行されるモデルパラメータ c_1' のリミット処理のフローチャートである。

ステップS111及びS112では、モデルパラメータ c_1' が、所定 c_1 下限値 $XIDC1L$ と所定 c_1 上限値 $XIDC1H$ で定まる範囲内にあるか否かを判別する。所定 c_1 下限値 $XIDC1L$ は、例えば-60に設定され、所定 c_1 上限値 $XIDC1H$ は、例えば60に設定される。

ステップS111及びS112の答がいずれも肯定(YES)であるとき、すなわち $XIDC1L \leq c_1' \leq XIDC1H$ であるときは、修正モデルパラメータ c_1 はモデルパラメータ c_1' に設定される(ステップS115)。

一方 $c_1' < XIDC1L$ であるときは、修正モデルパラメータ c_1 を下限値 $XIDC1L$ に設定するとともに、 c_1 リミットフラグ $FC1LMT$ を「1」に設定する(ステップS111, S114)。また $c_1' > XIDC1H$ であるときは、修正モデルパラメータ c_1 を上限値 $XIDC1H$ に設定するとともに、 c_1 リミットフラグ $FC1LMT$ を「1」に設定する(ステップS112, S113)。 c_1 リミットフラグ $FC1LMT$ は、「1」に設定されると、修正モデルパラメータ c_1 を下限値 $XIDC1L$ または上限値 $XIDC1H$ に設定したことを示す。

図21は、図9のステップS13で実行される状態予測器の演算処理のフローチャートである。

ステップS121では、マトリクス演算を実行して前記式(35)の行列要素 α_1 , α_2 , $\beta_1 \sim \beta_2$ 、及び $\gamma_1 \sim \gamma_d$ を算出する。

ステップS122では、式(35)により、予測偏差量 $PREDTH(k)$ を算出する。

図22は、図9のステップS14で実行される、スロットル弁駆動装置10への制御入力 $Us_1 (=DUT)$ を算出する処理のフローチャートである。

ステップS201では、図23に示す予測切換関数値 σ_{pre} の演算処理を実行し、ステップS202では、図26に示す予測切換関数値 σ_{pre} の積算値の演算処理を実行する。ステップS203では、前記式(9)により、等価制御入

力 U_{eq} を算出する。ステップS204では、図27に示す到達則入力 U_{rch} の演算処理を実行し、ステップS205では、図28に示す適応則入力 U_{adp} の演算処理を実行する。

ステップS206では、後述する図29の処理で設定される安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ が「1」であるか否かを判別する。安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ は、「1」に設定されると、適応スライディングモードコントローラ21が不安定となっていることを示す。

ステップS206で $F_{SMCSTAB}=0$ であって適応スライディングモードコントローラ21が安定であるときは、ステップS203～S205で算出された制御入力 U_{eq} 、 U_{rch} 及び U_{adp} を加算することにより、制御入力 U_s を算出する（ステップS207）。

一方 $F_{SMCSTAB}=1$ であって適応スライディングモードコントローラ21が不安定となっているときは、到達則入力 U_{rch} 及び適応則入力 U_{adp} の和を、制御入力 U_s として算出する。すなわち、等価制御入力 U_{eq} を、制御入力 U_s の算出に使用しないようにする。これにより、制御系が不安定化することを防止することができる。

続くステップS209及びS210では、算出した制御入力 U_s が所定上下限值 X_{USLH} 及び X_{USLL} の範囲内にあるか否かを判別し、制御入力 U_s が所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、制御入力 U_s が所定下限值 X_{USLL} 以下であるときは、制御入力 U_s を所定下限值 X_{USLL} に設定し（ステップS209、S212）、制御入力 U_s が所定上限値 X_{USLH} 以上であるときは、制御入力 U_s を所定上限値 X_{USLH} に設定する（ステップS210、S211）。

図23は、図22のステップS201で実行される予測切換関数値 σ_{pre} の演算処理のフローチャートである。

ステップS221では、図24に示す切換関数設定パラメータ V_{POLE} の演算処理を実行し、次いで前記式(36)により、予測切換関数値 $\sigma_{pre}(k)$ の演算を実行する（ステップS222）。

続くステップS223及びS224では、算出した予測切換関数値 $\sigma_{pre}(k)$

が所定上下限值 $XSGMH$ 及び $XSGML$ の範囲内にあるか否かを判別し、予測切換関数値 $\sigma pre(k)$ が所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、予測切換関数値 $\sigma pre(k)$ が所定下限値 $XSGML$ 以下であるときは、予測切換関数値 $\sigma pre(k)$ を所定下限値 $XSGML$ に設定し（ステップ $S223$ 、 $S225$ ）、予測切換関数値 $\sigma pre(k)$ が所定上限値 $XSGMH$ 以上であるときは、予測切換関数値 $\sigma pre(k)$ を所定上限値 $XSGMH$ に設定する（ステップ $S224$ 、 $S226$ ）。

図24は、図23のステップ $S221$ で実行される切換関数設定パラメータ $VPOLE$ の演算処理のフローチャートである。

ステップ $S231$ では、安定判別フラグ $FSMCSTAB$ が「1」であるか否かを判別し、 $FSMCSTAB=1$ であって適応スライディングモードコントローラ21が不安定となっているときは、切換関数設定パラメータ $VPOLE$ を安定化所定値 $XPOLESTB$ に設定する（ステップ $S232$ ）。安定化所定値 $XPOLESTB$ は、「-1」より大きく「-1」に非常に近い値（例えば-0.999）に設定される。

$FSMCSTAB=0$ であって適応スライディングモードコントローラ21が安定であるときは、下記式（46）により目標値 $DTHR(k)$ の変化量 $DDTHR(k)$ を算出する（ステップ $S233$ ）。

$$DDTHR(k) = DTHR(k) - DTHR(k-1) \quad (46)$$

ステップ $S234$ では、スロットル弁開度偏差量 DTH 及びステップ $S233$ で算出される目標値の変化量 $DDTHR$ に応じて $VPOLE$ マップを検索し、切換関数設定パラメータ $VPOLE$ を算出する。 $VPOLE$ マップは、図25Aに示すように、スロットル弁開度偏差量 DTH が0近傍の値をとるとき（スロットル弁開度 TH がデフォルト開度 $THDEF$ 近傍の値をとるとき）増加し、0近傍以外の値ではスロットル弁開度偏差量 DTH の変化に対してはほぼ一定の値となるように設定されている。また $VPOLE$ マップは、図25Bに実線で示すように、目標値の変化量 $DDTHR$ が増加するほど、 $VPOLE$ 値が増加するように設定されているが、スロットル弁開度偏差量 DTH が0近傍の値をとるときには、同図に破線で示すように目標値の変化量 $DDTHR$ が0近傍の値をとるときに

増加するように設定されている。

すなわち、スロットル弁開度の目標値DTHRが減少方向の変化が大きいときには、切換関数設定パラメータVPOL Eは比較的小さな値に設定される。これにより、スロットル弁3がスロットル全閉ストッパに衝突することを防止することができる。また、デフォルト開度THDEF近傍においては、切換関数設定パラメータVPOL Eが比較的大きな値に設定され、デフォルト開度THDEF近傍における制御性を向上させることができる。

なお、図25Cに示すように、スロットル弁開度THが全閉開度近傍または全開開度近傍にあるときは、切換関数設定パラメータVPOL Eを減少させるように設定してもよい。これにより、スロットル弁開度THが全閉開度近傍または全開開度近傍にあるときは、目標開度THRに対する追従速度が遅くなり、スロットル弁3の全閉ストッパ（全開開度でもストッパとして機能する）への衝突防止をより確実にすることができる。

続くステップS235及びS236では、算出した切換関数設定パラメータVPOL Eが所定上下限值XPOL EH及びXPOL ELの範囲内にあるか否かを判別し、切換関数設定パラメータVPOL Eが所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、切換関数設定パラメータVPOL Eが所定下限値XPOL EL以下であるときは、切換関数設定パラメータVPOL Eを所定下限値XPOL ELに設定し（ステップS236, S238）、切換関数設定パラメータVPOL Eが所定上限値XPOL EH以上であるときは、切換関数設定パラメータVPOL Eを所定上限値XPOL EHに設定する（ステップS235, S237）。

図26は、図22のステップS202で実行される、予測切換関数値 σ_{pre} の積算値SUMSIGMAを算出する処理のフローチャートである。積算値SUMSIGMAは、後述する図28の処理で適応則入力Uadpの算出に使用される（前記式(11a)参照）。

ステップS241では、下記式(47)により、積算値SUMSIGMAを算出する。下記式の ΔT は、演算の実行周期である。

$$\text{SUMSIGMA}(k) = \text{SUMSIGMA}(k-1) + \sigma_{pre} \times \Delta T \quad (47)$$

続くステップS 2 4 2及びS 2 4 3では、算出した積算値SUMSIGMAが所定上下限值XSUMSH及びXSUMSLの範囲内にあるか否かを判別し、積算値SUMSIGMAが所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、積算値SUMSIGMAが所定下限値XSUMSL以下であるときは、積算値SUMSIGMAを所定下限値XSUMSLに設定し（ステップS 2 4 2, S 2 4 4）、積算値SUMSIGMAが所定上限値XSUMSH以上であるときは、積算値SUMSIGMAを所定上限値XSUMSHに設定する（ステップS 2 4 3, S 2 4 5）。

図27は、図22のステップS 2 0 4で実行される到達則入力Urchの演算処理のフローチャートである。

ステップS 2 6 1では、安定判別フラグFSMCSTABが「1」であるか否かを判別する。安定判別フラグFSMCSTABが「0」であって適応スライディングモードコントローラ21が安定であるときは、制御ゲインFを所定通常ゲインXKRCHに設定し（ステップS 2 6 2）、下記式（48）（前記式（10a）と同一の式）により、到達則入力Urchを算出する（ステップS 2 6 3）。

$$Urch = -F \times \sigma_{pre} / b1 \quad (48)$$

一方安定判別フラグFSMCSTABが「1」であって適応スライディングモードコントローラ21が不安定となったときは、制御ゲインFを、所定安定化ゲインXKRCHSTBに設定し（ステップS 2 6 4）、モデルパラメータb1を使わない下記式（49）により到達則入力Urchを算出する（ステップS 2 6 5）。

$$Urch = -F \times \sigma_{pre} \quad (49)$$

続くステップS 2 6 6及びS 2 6 7では、算出した到達則入力Urchが所定上下限值XURCHH及びXURCHLの範囲内にあるか否かを判別し、到達則入力Urchが所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、到達則入力Urchが所定下限値XURCHL以下であるときは、到達則入力Urchを所定下限値XURCHLに設定し（ステップS 2 6 6, S 2 6 8）、到達則入力Urchが所定上限値XURCHH以上であるときは、到達則入

力 U_{rch} を所定上限値 $XURCHH$ に設定する（ステップ $S267$ 、 $S269$ ）。

このように適応スライディングモードコントローラ 21 が不安定となったときは、制御ゲイン F を所定安定化ゲイン $XKRCHSTB$ に設定するとともに、モデルパラメータ $b1$ を使用しないで到達則入力 U_{rch} を算出することにより、適応スライディングモードコントローラ 21 を安定な状態に戻すことができる。モデルパラメータ同定器 22 による同定が不安定となった場合に、適応スライディングモードコントローラ 21 が不安定となるので、不安定となったモデルパラメータ $b1$ を使わないことによって、適応スライディングモードコントローラ 21 を安定化することができる。

図 28 は、図 22 のステップ $S205$ で実行される適応則入力 U_{adp} の演算処理のフローチャートである。

ステップ $S271$ では、安定判別フラグ $FSMCSTAB$ が「 1 」であるか否かを判別する。安定判別フラグ $FSMCSTAB$ が「 0 」であって適応スライディングモードコントローラ 21 が安定であるときは、制御ゲイン G を所定通常ゲイン $XKADP$ に設定し（ステップ $S272$ ）、下記式（ 50 ）（前記式（ $11a$ ）に対応する式）により、適応則入力 U_{adp} を算出する（ステップ $S273$ ）。

$$U_{adp} = -G \times \text{SUMSIGMA} / b1 \quad (50)$$

一方安定判別フラグ $FSMCSTAB$ が「 1 」であって適応スライディングモードコントローラ 21 が不安定となったときは、制御ゲイン G を、所定安定化ゲイン $XKADPSTB$ に設定し（ステップ $S274$ ）、モデルパラメータ $b1$ を使わない下記式（ 51 ）により適応則入力 U_{adp} を算出する（ステップ $S275$ ）。

$$U_{adp} = -G \times \text{SUMSIGMA} \quad (51)$$

このように適応スライディングモードコントローラ 21 が不安定となったときは、制御ゲイン G を所定安定化ゲイン $XKADPSTB$ に設定するとともに、モデルパラメータ $b1$ を使用しないで適応則入力 U_{adp} を算出することにより、適応スライディングモードコントローラ 21 を安定な状態に戻すことができる。

図29は、図9のステップS16で実行されるスライディングモードコントローラの安定判別処理のフローチャートである。この処理では、リアプノフ関数の微分項に基づく安定判別を行い、安定判別結果に応じて安定判別フラグFSMCSTABの設定を行う。

ステップS281では下記式(52)により、切換関数変化量 $D\sigma_{pre}$ を算出し、次いで下記式(53)により、安定性判別パラメータSGMSTABを算出する(ステップS282)。

$$D\sigma_{pre} = \sigma_{pre}(k) - \sigma_{pre}(k-1) \quad (52)$$

$$SGMSTAB = D\sigma_{pre} \times \sigma_{pre}(k) \quad (53)$$

ステップS283では、安定性判別パラメータSGMSTABが安定性判定閾値XSGMSTAB以下か否かを判別し、 $SGMSTAB > XSGMSTAB$ であるときは、コントローラ21が不安定である可能性があるとして不安定検知カウンタCNTSMCSTを「1」だけインクリメントする(ステップS285)。また、 $SGMSTAB \leq XSGMSTAB$ であるときは、コントローラ21が安定であると判定して不安定検知カウンタCNTSMCSTのカウント値をインクリメントすることなく保持する(ステップS284)。

ステップS286では、不安定検知カウンタCNTSMCSTの値が所定カウント値XSSTAB以下か否かを判別する。 $CNTSMCST \leq XSSTAB$ であるときは、コントローラ21は安定していると判定し、第1判定フラグFSMCSTAB1を「0」に設定する(ステップS287)。一方 $CNTSMCST > XSSTAB$ であるときは、コントローラ21は不安定となっていると判定し、第1判定フラグFSMCSTAB1を「1」に設定する(ステップS288)。なお、不安定検知カウンタCNTSMCSTは、イグニッションスイッチオン時にそのカウント値が「0」に初期化される。

続くステップS289では、安定判別期間カウンタCNTJUDSTを「1」だけデクリメントし、次いでその安定判別期間カウンタCNTJUDSTの値が「0」であるか否かを判別する(ステップS290)。安定判別期間カウンタCNTJUDSTは、イグニッションスイッチオン時に所定判別カウント値XCJUDSTに初期化される。したがって、最初はステップS290の答は否定(N

○) となり、直ちにステップ S 2 9 5 に進む。

その後安定判別期間カウンタ CNT J U D S T が「0」となると、ステップ S 2 9 0 からステップ S 2 9 1 に進み、第 1 判定フラグ F S M C S T A B 1 が「1」であるか否かを判別する。そして、第 1 判定フラグ F S M C S T A B 1 が「0」であるときは、第 2 判定フラグ F S M C S T A B 2 を「0」に設定し（ステップ S 2 9 3）、第 1 判定フラグ F S M C S T A B 1 が「1」であるときは、第 2 判定フラグ F S M C S T A B 2 を「1」に設定する（ステップ S 2 9 2）。

続くステップ S 2 9 4 では、安定判別期間カウンタ CNT J U D S T の値を、所定判別カウント値 X C J U D S T に設定するとともに、不安定検知カウンタ C N T S M C S T の値を「0」に設定し、ステップ S 2 9 5 に進む。

ステップ S 2 9 5 では、安定判別フラグ F S M C S T A B を、第 1 判定フラグ F S M C S T A B 1 と第 2 判定フラグ F S M C S T A B 2 の論理和に設定する。第 2 判定フラグ F S M C S T A B 2 は、ステップ S 2 8 6 の答が肯定 (Y E S) となり、第 1 判定フラグ F S M C S T A B 1 が「0」に設定されても、安定判別期間カウンタ CNT J U D S T の値が「0」となるまでは、「1」に維持される。したがって、安定判別フラグ F S M C S T A B も、安定判別期間カウンタ C N T J U D S T の値が「0」となるまでは、「1」に維持される。

図 3 0 は、図 9 のステップ S 1 7 で実行されるデフォルト開度ずれ t h d e f a d p の算出処理のフローチャートである。

ステップ S 2 5 1 では、下記式 (5 4) により、ゲイン係数 K P T H (k) を算出する。

$$K P T H (k) = P T H (k-1) / (1 + P T H (k-1)) \quad (5 4)$$

ここで P T H (k-1) は、本処理の前回実行時にステップ S 2 5 3 で算出されたゲインパラメータである。

ステップ S 2 5 2 では、図 1 1 に示すモデルパラメータ同定器演算処理で算出されるモデルパラメータ c 1' 及びステップ S 2 5 1 で算出したゲイン係数 K P T H (k) を下記式 (5 5) に適用し、デフォルト開度ずれ t h d e f a d p (k) を算出する。

$$t h d e f a d p (k) = t h d e f a d p (k-1)$$

$$+KPTH(k) \times (c1' - thdefadp(k-1)) \quad (55)$$

ステップS253では、下記式(56)によりゲインパラメータPTH(k)を算出する。

$$PTH(k) = (1 - PTH(k-1)) / (XDEFADPW + PTH(k-1)) \times PTH(k-1) / XDEFADPW \quad (56)$$

式(56)は、前記式(39)において $\lambda 1'$ 及び $\lambda 2'$ を、それぞれ所定値XDEFADPW及び「1」に設定したものである。

図30の処理により、モデルパラメータ $c1'$ が逐次型重み付き最小2乗法により統計処理され、デフォルト開度 $thdefadp$ が算出される。

本実施形態では、スロットル弁駆動装置10及びECU7の一部(モータ6に駆動電流を供給する出力回路)がプラントに相当し、図22の処理がスライディングモードコントローラに相当し、図11の処理が同定手段に相当し、図12の処理が同定誤差算出手段に相当し、図14の処理が同定誤差修正手段に相当し、図21の処理が予測手段に相当する。

また図23の処理が、切換関数値算出手段に相当し、図29の処理が判別手段に相当し、図22のステップS203、S204及びS205が、それぞれ等価制御入力算出手段、到達則入力算出手段、及び適応則入力算出手段に相当し、図22のステップS207が制御入力算出手段に相当し、図22のステップS206及びS208、図24のステップS231及びS232、図27のステップS261、S264及びS265、並びに図28のステップS271、S274及びS275が、安定化手段に相当する。

また、図22の処理が制御手段に相当し、図11のステップS34がモデルパラメータベクトル算出手段に相当し、図16の処理が制限手段に相当する。

(第2の実施形態)

上述した第1の実施形態では、制御対象モデルをむだ時間 d を含む式(1)を用いて定義し、状態予測器23を用いて、むだ時間 d 経過後の予測偏差量PREDDTHを算出することにより、むだ時間を含む制御対象モデルの制御を行っている。そのため、状態予測器23に対応した演算をCPUで実行する必要がある、

CPUの演算量が大きくなる。そこで、本実施形態では、CPUに加わる演算負荷の軽減を図るべく、むだ時間dを「0」とした下記式(1a)により制御対象モデルを定義し、むだ時間dを「0」とすることに起因するモデル化誤差は、適応スライディングモード制御のロバスト性によって補償している。

$$DTH(k+1) = a_1 \times DTH(k) + a_2 \times DTH(k-1) + b_1 \times DUT(k) + c_1 \quad (1a)$$

CPUの演算負荷をさらに軽減するために、モデルパラメータの同定アルゴリズムとして、固定ゲインアルゴリズムを採用している。

また、より一層の制御の安定化を図るべく、モデルパラメータのドリフトを防止する手法として、不感帯処理に代わる他の手法を採用している。

以下本実施形態を、第1の実施形態と異なる点を中心として詳細に説明する。以下に述べる点以外は、第1の実施形態と同一である。

図31は、ECU7により実現されるスロットル弁制御装置の機能ブロック図であり、この制御装置は、適応スライディングモードコントローラ21aと、モデルパラメータ同定器22aと、モデルパラメータスケジューラ25と、アクセルペダル踏み込み量ACCに応じてスロットル弁3の目標開度THRを設定する目標開度設定部24とからなる。

適応スライディングモードコントローラ21aには、予測偏差量PRE DTHではなく、検出したスロットル弁開度THが入力され、このスロットル弁開度THが目標開度THRと一致するように、適応スライディングモード制御によりデューティ比DUTが算出される。

適応スライディングモードコントローラ21aを用いることにより、第1の実施形態で説明した効果と同様の効果が得られ、また制御対象のむだ時間に対する制御系のロバスト性を確保することができる。したがって、むだ時間dを「0」とすることに起因するモデル化誤差を補償することができる。

モデルパラメータ同定器22aは、第1の実施形態とは異なる手法で、修正モデルパラメータベクトル θ_L ($\theta_L^T = [a_1, a_2, b_1, c_1]$)を算出し、適応スライディングモードコントローラ21aに供給する。より具体的には、モデルパラメータ同定器22aは、モデルパラメータスケジューラ25から供給さ

れる基準モデルパラメータベクトル θ_{base} を、スロットル弁開度 TH 及びデューティ比 DUT に基づいて補正することにより、モデルパラメータベクトル θ を算出する。さらに、そのモデルパラメータベクトル θ に対してリミット処理を行うことにより修正モデルパラメータベクトル θ_L を算出し、該修正モデルパラメータベクトル θ_L を適応スライディングモードコントローラ 21a に供給する。このようにしてスロットル弁開度 TH を目標開度 THR に追従させるために最適なモデルパラメータ a_1, a_2, b_1 が得られ、さらに外乱及びデフォルト開度 $THDEF$ のずれを示すモデルパラメータ c_1 が得られる。

モデルパラメータスケジューラ 25 は、スロットル弁開度 TH に基づいて、基準モデルパラメータベクトル θ_{base} ($\theta_{base}^T = [a_1 base, a_2 base, b_1 base, c_1 base]$) を算出し、モデルパラメータ同定器 22a に供給する。

本実施形態では、前記式 (1a) により制御対象モデルを定義しているので、適応スライディングモードコントローラ 21a は、等価制御入力 U_{eq} 、到達則入力 U_{rch} 及び適応則入力 U_{adp} を、前記式 (9a), (10a), (11a) に代えて、下記式 (9b), (10b), (11b) により算出する。

$$\begin{aligned} DUT(k) = & \frac{1}{b_1} \{ (1 - a_1 - VPOLE) DTH(k) + (VPOLE - a_2) DTH(k-1) \\ & - c_1 + DTHR(k+1) + (VPOLE - 1) DTHR(k) \\ & - VPOLE \times DTHR(k-1) \} \\ & = U_{eq}(k) \end{aligned} \quad (9b)$$

$$U_{rch}(k) = \frac{-F}{b_1} \sigma(k) \quad (10b)$$

$$U_{adp}(k) = \frac{-G}{b_1} \sum_{i=0}^k \Delta T \sigma(i) \quad (11b)$$

式 (9b) ~ (11b) は、前記式 (9) ~ (11) のむだ時間 d を「0」とすることにより得られる。

モデルパラメータ同定器 22a は、前述したように制御対象の入力 ($DUT(k)$) 及び出力 ($TH(k)$) に基づいて、制御対象モデルのモデルパラメータベクトル

を算出する。具体的には、モデルパラメータ同定器 22 a は、下記式 (15) (再掲) により、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出する。

$$\theta(k) = \theta(k-1) + K P(k) \text{ide}(k) \quad (15)$$

式 (15) の同定誤差 $\text{ide}(k)$ は、下記式 (17) (再掲)、(18) (再掲) 及び (19 a) により定義される。式 (19 a) は、前記式 (19) のむだ時間 d を「0」としたものである。ゲイン係数ベクトル $K P(k)$ は、下記式 (20) (再掲) により定義され、式 (20) の正方行列 $P(k)$ は、下記式 (21) (再掲) により算出される。

$$\text{ide}(k) = DTH(k) - DTHHAT(k) \quad (17)$$

$$DTHHAT(k) = \theta(k-1)^T \zeta(k) \quad (18)$$

$$\zeta(k)^T = [DTH(k-1), DTH(k-2), DUT(k-1), 1] \quad (19a)$$

$$K P(k) = \frac{P(k) \zeta(k)}{1 + \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \quad (20)$$

$$P(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left(\mathbb{I} - \frac{\lambda_2 P(k) \zeta(k) \zeta(k)^T}{\lambda_1 + \lambda_2 \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \right) P(k) \quad (21)$$

(\mathbb{I} は単位行列)

本実施形態では、第 1 の実施形態と同様に下記要求 B 1 ~ B 3 を満たすことに加えて、さらに下記要求 B 4 及び B 5 を満たすことが求められる。

B 1) 準静的動特性変化及びハードウェアの特性ばらつきに対する適応

「準静的動特性変化」とは、例えば電源電圧の変動やハードウェアの経年劣化といった変化速度の遅い特性変化である。

B 2) 速い動特性変化への適応

具体的には、スロットル弁開度 TH の変化に対応する動特性変化への適応を意味する。

B 3) モデルパラメータのドリフト防止

モデルパラメータに反映すべきでない制御対象の非線形特性などに起因する同

定誤差の影響によって、モデルパラメータの絶対値が増大するような不具合を防止する。

B 4) ECUの演算能力とマッチング

具体的には、演算量をより低減させることが求められる。

B 5) モデルパラメータ（制御性能）の安定化

具体的は、同定されるモデルパラメータのばらつきを極力抑制することが求められる。

先ず要求B 4を満たすために、係数 λ_1 及び λ_2 をそれぞれ1, 0に設定することにより、固定ゲインアルゴリズムを採用する。これによって、正方行列 $P(k)$ は一定となるため、式(21)の演算を省略することができ、演算量を大幅に低減できる。

すなわち固定ゲインアルゴリズムを採用すると、式(20)は、下記式(20a)のように簡略化される。式(20a)において P は、定数を対角要素とする正方行列である。

$$KP(k) = \frac{P \zeta(k)}{1 + \zeta^T(k) P \zeta(k)} \quad (20a)$$

このように簡略化されたアルゴリズムによれば、演算量を削減できる。しかし、同定能力は若干低下する。また、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出する式(15)は、下記式(15b)のように書き直すことができ、同定誤差 $ide(k)$ の積分構造を有する。したがって、同定誤差 $ide(k)$ がモデルパラメータに積分され、モデルパラメータのドリフトが起き易い。

$$\begin{aligned} \theta(k) = & \theta(0) + KP(1) ide(1) + KP(2) ide(2) \\ & + \dots + KP(k) ide(k) \end{aligned} \quad (15b)$$

ここで、 $\theta(0)$ は、モデルパラメータの初期値を要素とする初期値ベクトルである。

そこで本実施形態では、このようなモデルパラメータのドリフトを防止するために、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を上記式(15b)に代えて、下記式(15c)により、算出するようにした。

$$\begin{aligned}
 \theta(k) = & \theta(0) + \text{DELTA}^{k-1} \times \text{KP}(1) \text{ide}(1) \\
 & + \text{DELTA}^{k-2} \times \text{KP}(2) \text{ide}(2) + \dots \\
 & + \text{DELTA} \times \text{KP}(k-1) \text{ide}(k-1) + \text{KP}(k) \text{ide}(k)
 \end{aligned}
 \tag{15c}$$

ここで、DELTAは下記式で示すように、忘却係数DELTA_i (i=1~4)を要素とする忘却係数ベクトルである。

$$\text{DELTA} = [\text{DELTA}_1, \text{DELTA}_2, \text{DELTA}_3, \text{DELTA}_4]$$

忘却係数DELTA_iは、0から1の間の値に設定され(0<DELTA_i<1)、過去の同定誤差の影響を徐々に減少させる機能を有する。ただし、モデルパラメータb₁の演算に係る係数DELTA₃またはモデルパラメータc₁の演算にかかる係数DELTA₄の何れか一方は、「1」として、実質的に忘却係数DELTA₃及びDELTA₄の一方が無効となるようにする。このように、忘却係数ベクトルDELTAの要素の一部を「1」とすることにより、目標値DTHRと、スロットル弁開度偏差量DTHとの定常偏差が発生することを防止することができる。なお、係数DELTA₃及びDELTA₄をともに「1」とすると、モデルパラメータのドリフト防止効果が不十分となるので、何れか一方のみを「1」とすることが望ましい。

式(15c)を漸化式形式に書き直すと、下記式(15d)(15e)が得られる。前記式(15)に代えて下記式(15d)及び(15e)を用いてモデルパラメータベクトルθ(k)を算出する手法を、以下δ修正法といい、式(15e)で定義されるdθ(k)を「更新ベクトル」という。

$$\theta(k) = \theta(0) + d\theta(k) \tag{15d}$$

$$d\theta(k) = \text{DELTA} \times d\theta(k-1) + \text{KP}(k) \text{ide}(k) \tag{15e}$$

δ修正法を用いたアルゴリズムによれば、上記要求B3を満たすドリフト防止効果とともに、上記要求B5を満たすモデルパラメータの安定化効果も得られる。すなわち、初期値ベクトルθ(0)が常に保存され、更新ベクトルdθ(k)も忘却係数ベクトルDELTAの働きにより、その要素のとりうる値が制限されるので、各モデルパラメータを初期値近傍に安定させることができる。

さらに実際の制御対象の入出力データに基づいた同定により更新ベクトルdθ

(k)を調整しつつモデルパラメータを算出するので、実際の制御対象に適合したモデルパラメータを算出でき、上記要求B 1も満たされる。

次に要求B 2を満たすべく、本実施形態では上記式(15 d)の初期値ベクトル $\theta(0)$ に代えて、基準モデルパラメータベクトル θ_{base} を用いる下記式(15 f)により、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出することとした。

$$\theta(k) = \theta_{base} + d\theta(k) \quad (15 f)$$

基準モデルパラメータベクトル θ_{base} は、モデルパラメータスケジューラ25によりスロットル弁開度偏差量 $DTH (= TH - THDEF)$ に応じて設定されるので、スロットル弁開度 TH の変化に対応する動特性の変化に適応させることができ、上記要求B 2を満たすことができる。基準モデルパラメータベクトル θ_{base} は、スロットル弁開度 TH 、目標開度 THR 、または目標値 $DTHR (= THR - THDEF)$ に応じて設定してもよい。スロットル弁開度偏差量 DTH (スロットル弁開度 TH)は、目標値 DTH (目標開度 THR)に一致するように制御されるからである。

以上のように本実施形態では、固定ゲインアルゴリズムを採用することにより、ECUの演算量の低減を図り(要求B 4)、 δ 修正法を用いたアルゴリズムを採用することにより、準静的動特性変化及びハードウェアの特性ばらつきに対する適応(要求B 1)、モデルパラメータ(制御性能)の安定化(要求B 5)、及びモデルパラメータのドリフト防止(要求B 3)を実現し、モデルパラメータスケジューラ25を採用することにより、スロットル弁開度 TH の変化に対応した動特性変化への適応(要求B 2)を実現している。

なお、式(15 f)により算出されるモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の各要素 $a1'$ 、 $a2'$ 、 $b1'$ 及び $c1'$ についてリミット処理を施し、修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ ($\theta_L(k)^T = [a1, a2, b1, c1]$)を算出する点は、第1の実施形態と同様である。

また、モデルパラメータ $c1'$ を統計処理し、その変動の中心値をデフォルト開度ずれ $thdefadp$ として算出し、下記式(41)(42)(再掲)によりスロットル弁開度偏差量 DTH 及び目標値 $DTHR$ を算出する点も、第1の実施形態と同様である。

$$DTH(k) = TH(k) - THDEF + thdefadp \quad (41)$$

$$DTHR(k) = THR(k) - THDEF + thdefadp \quad (42)$$

次に上述した適応スライディングモードコントローラ21a、モデルパラメータ同定器22a及びモデルパラメータスケジューラ25の機能を実現するための、ECU7のCPUにおける演算処理を説明する。

図32は、スロットル弁開度制御の全体フローチャートである。この処理は、図9に示すスロットル弁開度制御処理のステップS13（状態予測器の演算）を削除し、ステップS12、S14及びS16を、それぞれステップS12a、14a及び16aに変更したものである。

ステップS12aでは、図33に示すモデルパラメータ同定器の演算、すなわち前記式(15f)によるモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の算出処理を実行し、さらにリミット処理を実行して修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ を算出する。

ステップS14aでは、修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ を用いて、図36に示す制御入力 $U_{s1}(k)$ の演算処理を実行する。すなわち、前記式(9b)（10b）（11b）により、等価制御入力 U_{eq} 、到達則入力 $U_{rch}(k)$ 及び適応則入力 $U_{adp}(k)$ を算出し、それらの入力の総和として、制御入力 $U_{s1}(k)$ （＝デューティ比 $DUT(k)$ ）を算出する。

ステップS16aでは、図41に示すスライディングモードコントローラの安定判別処理を実行する。すなわち、予測切換閾数値 σ_{pre} に代えて、切換閾数値 σ を用いてスライディングモードコントローラの安定性判別を行い、安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ の設定を行う。この安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ は、「1」に設定されたときの処理は、第1の実施形態と同様である。

図33は、モデルパラメータ同定器22aの演算処理のフローチャートである。この処理は、図11に示すモデルパラメータ同定器の演算処理のステップS31～S34をそれぞれ、ステップS31a～S34aに変更し、さらにステップS33b及びS33cを追加したものである。

ステップS31aでは、式(20a)によりゲイン係数ベクトル $K_P(k)$ を算出し、次いで式(18)及び(19a)により推定スロットル弁開度偏差量 DTH

HAT(k)を算出する(ステップS32a)。

ステップS33aでは、図35に示すide(k)の演算処理を実行し、同定誤差ide(k)を算出する。ステップS33bでは、式(15e)により更新ベクトルdθ(k)を算出し、次いでスロットル弁開度偏差量DTHに応じて図34に示すθbaseテーブルを検索し、基準モデルパラメータベクトルθbaseを算出する(ステップS33c)。θbaseテーブルには、基準モデルパラメータa1base, a2base及びb1baseが設定されている。スロットル弁開度偏差量DTHが「0」近傍の値をとる(スロットル弁開度THが、デフォルト開度THDEF近傍である)とき、基準モデルパラメータa1base及びb1baseは減少し、基準モデルパラメータa2baseは増加するように設定されている。また、基準モデルパラメータc1baseは、「0」に設定される。

ステップS34aでは、式(15f)によりモデルパラメータベクトルθ(k)を算出し、次いで第1の実施形態と同様に、モデルパラメータベクトルθ(k)の安定化処理を実行する(ステップS35)。すなわち各モデルパラメータのリミット処理を行って修正モデルパラメータベクトルθL(k)を算出する。

図35は、図33のステップS33aで実行されるide(k)演算処理のフローチャートである。この処理は、図12のide(k)演算処理のステップS56(不感帯処理)を削除し、ステップS51をステップS51aに変更したものである。すなわち本実施形態では、δ修正法により、モデルパラメータのドリフトが防止されるので、不感帯処理は実行しない。

また、ステップS51aでは、推定スロットル弁開度偏差量DTHHAT(k)を式(18)及び(19a)により算出し、この推定スロットル弁開度偏差量DTHHAT(k)を用いて同定誤差ide(k)を算出する。

本実施形態では、制御対象モデルのむだ時間dを「0」としているため、ステップS52の所定値XCNTIDSTは、例えば「2」に設定される。

図36は、図32のステップS14aで実行される、スロットル弁駆動装置10への制御入力Us1(=DUT)を算出する処理のフローチャートである。この処理は、図22に示すUs1演算処理のステップS201～S205を、それぞれステップS201a～S205aに変更したものである。

ステップS201aでは、図37に示す切換関数値 σ の演算処理を実行し、ステップS202aでは、図38に示す切換関数値 σ の積算値の演算処理を実行する。ステップS203aでは、前記式(9b)により、等価制御入力 U_{eq} を算出する。ステップS204aでは、図39に示す到達則入力 U_{rch} の演算処理を実行し、ステップS205aでは、図40に示す適応則入力 U_{adp} の演算処理を実行する。

図37は、図36のステップS201aで実行される切換関数値 σ の演算処理のフローチャートである。この処理は、図23に示す予測切換関数値 σ_{pre} の演算処理のステップS222～S226を、それぞれステップS222a～S226aに変更したものである。

ステップS222aでは、前記式(5)により、切換関数値 $\sigma(k)$ を算出する。続くステップS223a～S226aは、図23のステップS223～S226の「 σ_{pre} 」を「 σ 」に置き換えたものであり、切換関数値 $\sigma(k)$ に対して、図23の処理と同様のリミット処理を行う。

図38は、図36のステップS202aで実行される、切換関数値 σ の積算値SUMSIGMAaを算出する処理のフローチャートである。この処理は、図26に示す σ_{pre} の積算値演算処理のステップS241～S245を、それぞれステップS241a～S245aに変更したものである。積算値SUMSIGMAaは、後述する図40の処理で適応則入力 U_{adp} の算出に使用される(前記式(11b)参照)。

ステップS241aでは、下記式(47a)により、積算値SUMSIGMAaを算出する。

$$\text{SUMSIGMAa}(k) = \text{SUMSIGMAa}(k-1) + \sigma \times \Delta T \quad (47a)$$

続くステップS242a～S245aでは、算出した積算値SUMSIGMAaに対して、図26の処理と同様のリミット処理を行う。

図39は、図36のステップS204aで実行される到達則入力 U_{rch} の演算処理のフローチャートである。この処理は、図27に示す到達則入力 U_{rch} 演算処理のステップS263及びS265をそれぞれステップS263a及びS265aに変更したものである。

すなわち、本実施形態では、予測切換関数値 σ_{pre} ではなく、切換関数値 σ を用いて、適応スライディングモードコントローラ 21 a が安定してるときの到達則入力 U_{rch} の算出（ステップ S 2 6 3 a）、及び適応スライディングモードコントローラ 21 a が不安定であるときの到達則入力 U_{rch} の算出（ステップ S 2 6 5 a）を実行する。

図 4 0 は、図 3 6 のステップ S 2 0 5 a で実行される適応則入力 U_{adp} の演算処理のフローチャートである。この処理は、図 2 8 に示す適応則入力 U_{adp} 演算処理のステップ S 2 7 3 及び S 2 7 5 をそれぞれステップ S 2 7 3 a 及び S 2 7 5 a に変更したものである。

すなわち、本実施形態では、切換関数値 σ の積算値 $SUMSIGUMA a$ を用いて、適応スライディングモードコントローラ 21 a が安定してるときの適応則入力 U_{adp} の算出（ステップ S 2 7 3 a）、及び適応スライディングモードコントローラ 21 a が不安定であるときの適応則入力 U_{adp} の算出（ステップ S 2 7 5 a）を実行する。

図 4 1 は、図 3 2 のステップ S 1 6 a で実行されるスライディングモードコントローラの安定判別処理のフローチャートである。この処理は、図 2 9 のステップ S 2 8 1 及び S 2 8 1 をそれぞれステップ S 2 8 1 a 及び S 2 8 2 a に変更したものである。

ステップ S 2 8 1 a では下記式（5 2 a）により、切換関数変化量 $D\sigma$ を算出し、ステップ S 2 8 2 a では、下記式（5 3 a）により、安定性判別パラメータ $SGMSTAB$ を算出する。すなわち、予測切換関数値 σ_{pre} ではなく、切換関数値 σ に基づいて安定性判別を行う。

$$D\sigma = \sigma(k) - \sigma(k-1) \quad (5\ 2\ a)$$

$$SGMSTAB = D\sigma \times \sigma(k) \quad (5\ 3\ a)$$

本実施形態では、スロットル弁駆動装置 1 0 及び ECU 7 の一部（モータ 6 に駆動電流を供給する出力回路）がプラントに相当し、図 3 6 の処理がスライディングモードコントローラに相当し、図 3 3 の処理が同定手段に相当し、図 3 5 の処理が同定誤差算出手段に相当し、図 3 3 のステップ S 3 3 b が更新ベクトル算出手段及び更新ベクトル修正手段に相当する。

また、図 3 6 の処理が制御手段に相当し、図 3 3 のステップ S 3 3 c が基準モデルパラメータ算出手段に相当し、図 3 3 のステップ S 3 3 b が更新成分算出手段に相当する。

また図 3 7 の処理が、切換関数値算出手段に相当し、図 4 1 の処理が判別手段に相当し、図 3 6 のステップ S 2 0 3 a、S 2 0 4 a 及び S 2 0 5 a が、それぞれ等価制御入力算出手段、到達則入力算出手段、及び適応則入力算出手段に相当し、図 3 6 のステップ S 2 0 7 が制御入力算出手段に相当し、図 3 6 のステップ S 2 0 6 及び S 2 0 8、図 3 9 のステップ S 2 6 1、S 2 6 4 及び S 2 6 5 a、並びに図 4 0 のステップ S 2 7 1、S 2 7 4 及び S 2 7 5 a が、安定化手段に相当する。

図 3 3 のステップ S 3 4 a がモデルパラメータベクトル算出手段に相当し、図 3 3 のステップ S 3 5 が制限手段に相当する。

(第 3 の実施形態)

図 4 2 は、本発明の第 3 の実施形態にかかる制御系の構成を示すブロック図である。

この制御系は、制御対象であるプラント 1 0 1 と、プラントの出力である混合液の pH（ペーハー）を検出する pH センサ 1 0 2 と、pH センサ出力 V 1 O U T から第 1 基準値 V 1 B A S E を減算する減算器 1 0 3 と、制御目標値 V 1 T A R G E T を生成する目標値生成部 1 0 4 と、第 1 操作量 U 1 を決定する操作量決定部 1 0 5 と、第 1 操作量 U 1 と第 2 基準値 V 2 B A S E とを加算し、第 2 操作量 U 2 を出力する加算器 1 0 6 とからなる。

減算器 1 0 3、目標値生成部 1 0 4、操作量決定部 1 0 5 及び加算器 1 0 6 は、具体的には CPU、メモリ、入出力回路などからなる電子コントロールユニットにより構成される。

プラント 1 0 1 は、第 2 操作量 U 2 に応じてアルカリ液の流量を制御する流量制御弁 1 1 1 と、流量制御弁 1 1 1 を介して供給されるアルカリ液と、酸性液とを攪拌する攪拌器 1 1 2 とからなる。プラント 1 0 1 は、アルカリ液と酸性液とを攪拌することにより、所望の pH 値の混合液を出力するものである。

操作量決定部 1 0 5 は、プラント 1 0 1 をモデル化した制御対象モデルのモデ

ルパラメータベクトルを同定する同定器 121 と、適応スライディングモードコントローラ 122 と、予測器 123 とからなる。同定器 121、適応スライディングモードコントローラ 122、及び予測器 123 は、それぞれ第 1 の実施形態におけるモデルパラメータ同定器 22、適応スライディングモードコントローラ 21、及び状態予測器 23 に対応し、これらと同様の機能を有する。

以下本実施形態における構成要素及びパラメータと、第 1 の実施形態における構成要素及びパラメータとの対応関係を説明する。

pH センサ 102 は、スロットル弁開度センサ 8 に相当し、pH センサ 102 の出力 V_{1OUT} は、スロットル弁開度 TH に相当する。第 1 目標値 V_{1BASE} は、デフォルト開度 $THDEF$ に相当するものであり、本実施形態では、例えば中性に対応する pH 値とする。したがって、偏差量 DV_1 がスロットル弁開度偏差量 DTH に相当する。また目標値生成部 104 が、目標開度設定部 24 に相当し、制御目標値 $V_{1TARGET}$ がスロットル弁開度偏差量の目標値 $DTHR$ に相当する。なお、第 1 の実施形態においては、減算器 103 の機能は、モデルパラメータ同定器 22 及び状態予測器 23 に含まれている。

第 2 基準値 V_{2BASE} は、適応スライディングモードコントローラ 122 の出力である第 1 操作量 U_1 の中心値をバイアスするために加算されるものである。第 1 の実施形態では加算器 106 に相当する構成要素はなく、したがって第 2 基準値 V_{2BASE} は実質的に「0」とされている（すなわち、 $U_1 = U_2 = U_{s1}$ である）。本実施形態では、第 2 基準値 V_{2BASE} は、例えば流量制御弁 111 の開度が 50% となるような値に設定される。

流量制御弁 111 は、デューティ比 DU_T のパルス信号でオンオフ制御されるスイッチング素子（ECU7 の出力回路に含まれ、図示及び説明を省略している）に相当し、アルカリ液は電源電圧に相当する。また流量制御弁 111 の出力流量 V_2 は、モータ 6 の駆動電流に相当し、攪拌器 112 は、モータ 6 及びスロットル弁 3 の弁体に相当し、酸性液はスロットル弁 3 の弁体に加わる吸気管負圧や、リターンスプリング 4 及び弾性部材 5 の付勢力に相当する。攪拌器 112 から出力されるの混合液の pH 値 V_1 が、実際のスロットル弁開度に相当する。

以上のような対応関係があるので、プラント 101 を第 1 の実施形態と同様に

モデル化し、同様の制御手法を適用することができる。すなわち、同定器 121 は、第 1 操作量 U_1 及び偏差量 DV_1 に基づいて、第 1 の実施形態と同様の演算処理により、修正モデルパラメータベクトル θ_L を算出し、予測器 123 は、第 1 操作量 U_1 、偏差量 DV_1 及び修正モデルパラメータベクトル θ_L に基づいて、第 1 の実施形態と同様の演算処理により、予測偏差量 $PREDV_1$ を算出し、適応スライディングモードコントローラ 122 は、予測偏差量 $PREDV_1$ 及び修正モデルパラメータベクトル θ_L に基づいて、第 1 の実施形態と同様の演算処理により、予測偏差量 $PREDV_1$ を制御目標値 $V_1TARGET$ に一致させるように、第 1 操作量 U_1 を算出する。したがって、制御目標値 $V_1TARGET$ として、所望の相対 pH 値（第 1 基準値 V_1BASE との偏差量）を設定することにより、プラントの出力 V_1 を所望の pH 値に一致させることができる。

本実施形態では、同定器 121 が同定手段に相当し、同定誤差算出手段、同定誤差修正手段、モデルパラメータベクトル算出手段及び制限手段を含む。また予測器 123 が予測手段に相当する。

（第 3 の実施形態の変形例）

図 43 は、図 42 に示す構成の変形例を示す図である。この変形例では、図 42 のプラント 101 ではなく、プラント 101a が制御対象とされる。プラント 101a は、プラント 101 に、流量制御弁 111 の出力流量 V_2 を検出する流量センサ 113 と、流量センサ出力 V_2OUT が第 2 操作量 U_2 に対応する流量値と一致するように、流量制御弁 111 を制御するフィードバック制御器 114 とを追加して構成されている。

このようにローカルフィードバックループを含むプラントに対しても、第 3 の実施形態と同様のモデル化及び同様の制御手法の適用が可能である。

なお第 1 の実施形態では、モータの駆動回路は公知のものであるため、詳細な説明を行っていないが、オンオフ制御されるスイッチング素子の出力電流を検出する電流センサを設け、検出電流値 ID が、操作量 U_{s1} に対応する電流値 IR と一致するようにフィードバック制御を行うようにしてもよく、本変形例は第 1 の実施形態においてそのような回路構成を採用した場合に相当する。

(第4の実施形態)

図44は、本発明の第4の実施形態にかかる制御系の構成を示すブロック図である。この制御系は、図42の操作量決定部105を操作量決定部105aに代えたものであり、第2の実施形態として示した制御系に対応する。なお、以下に説明する以外は第3の実施形態と同一である。

操作量決定部105aは、同定器121aと、適応スライディングモードコントローラ122aと、パラメータスケジューラ124とからなる。

同定器121a、適応スライディングモードコントローラ122a及びパラメータスケジューラ124は、それぞれ第2の実施形態におけるモデルパラメータ同定器22a、適応スライディングモードコントローラ21a及びモデルパラメータスケジューラ25に対応し、これらと同様の機能を有する。

すなわち、パラメータスケジューラ124は、偏差量DV1に基づいて第2の実施形態と同様の演算処理により、基準モデルパラメータベクトル θ_{base} を算出し、同定器121aは、第1操作量U1、偏差量DV1及び基準モデルパラメータベクトル θ_{base} に基づいて第2の実施形態と同様の演算処理により、修正モデルパラメータベクトル θ_L を算出し、適応スライディングモードコントローラ122aは、偏差量DV1及び修正モデルパラメータベクトル θ_L に基づいて、第2の実施形態と同様の演算処理により偏差量DV1を制御目標値V1TARGETに一致させるように、第1操作量U1を算出する。したがって、制御目標値V1TARGETとして、所望の相対pH値（第1基準値V1BASEとの偏差量）を設定することにより、プラントの出力V1を所望のpH値に一致させることができる。

本実施形態では、同定器121aが同定手段に相当し、同定誤差算出手段、更新ベクトル算出手段及び更新ベクトル修正手段、あるいは更新成分算出手段を含む。またパラメータスケジューラ124が基準モデルパラメータ算出手段に相当する。

(第4の実施形態の変形例)

図45は、図44に示す構成の変形例を示す図である。この変形例では、図44のプラント101ではなく、プラント101aが制御対象とされる。プラント

101aは、図43のプラント101aと同一である。

このようにローカルフィードバックループを含むプラントに対しても、第4の実施形態と同様のモデル化及び同様の制御手法の適用が可能である。

(第5の実施形態)

図46は、本発明の第5の実施形態にかかる制御系の構成を示すブロック図である。

この制御系は、内燃エンジン212を含む制御対象であるエンジンシステム201と、エンジンシステム201の排気中の酸素濃度VO2に応じて、エンジン212に供給される混合気の空燃比を検出する空燃比センサ202と、空燃比センサ出力KACT（空燃比を当量比に換算した値を有する）から基準値KBSを減算する減算器203と、制御目標値DKCMDを生成する目標値生成部204と、操作量DKAFを決定する操作量決定部205と、操作量DKAFと基準値KBSとを加算し、補正量KAFを出力する加算器206と、補正量KAF及び他のフィードフォワード制御項とを用いて燃料量TOUTを演算する燃料量演算部207からなる。

減算器203、目標値生成部204、操作量決定部205、加算器206、及び燃料量演算部207は、具体的にはCPU、メモリ、入出力回路などからなる電子コントロールユニットにより構成される。

エンジンシステム201は、燃料量TOUTに応じて燃料を噴射する燃料噴射弁211と、燃料噴射弁211を介して供給される燃料と吸入空気とからなる混合気を燃焼させる内燃エンジン212とからなる。エンジンシステム201は、燃料を燃焼させてエンジンの回転トルクを得るとともに、燃焼ガス（排気）を排出する。

操作量決定部205は、エンジンシステム201をモデル化した制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを同定する同定器221と、適応スライディングモードコントローラ222と、予測器223とからなる。同定器221、適応スライディングモードコントローラ222、及び予測器223は、それぞれ第1の実施形態におけるモデルパラメータ同定器22、適応スライディングモードコントローラ21、及び状態予測器23に対応し、これらと同様の機能を有する。

以下本実施形態における構成要素及びパラメータと、第1の実施形態における構成要素及びパラメータとの対応関係を説明する。

空燃比センサ202は、スロットル弁開度センサ8に相当し、空燃比センサ202の出力KACTは、スロットル弁開度THに相当する。基準値KBSは、デフォルト開度THDEFに相当するものであり、本実施形態では、例えば理論空燃比に対応する値(1.0)とする。したがって、偏差量DKがスロットル弁開度偏差量DTHに相当する。また目標値生成部204が、目標開度設定部24に相当し、制御目標値DKCMDがスロットル弁開度偏差量の目標値DTHRに相当する。なお、第1の実施形態においては、減算器203の機能は、モデルパラメータ同定器22及び状態予測器23に含まれている。

適応スライディングモードコントローラ222の出力である操作量DKAFの中心値をバイアスするために、基準値KBSが加算器206により加算される。第1の実施形態では加算器206に相当する構成要素はない。

燃料噴射弁211は、デューティ比DUTのパルス信号でオンオフ制御されるスイッチング素子(ECU7の出力回路に含まれ、図示及び説明を省略している)に相当し、燃料は電源電圧に相当する。また燃料噴射弁211から噴射される燃料量FAは、モータ6の駆動電流に相当し、エンジン212は、モータ6及びスロットル弁3の弁体に相当し、吸入空気はスロットル弁3の弁体に加わる吸気管負圧や、リターンスプリング4及び弾性部材5の付勢力に相当する。エンジン212から排出される排気中の酸素濃度VO2が、実際のスロットル弁開度に相当する。

以上のような対応関係があるので、エンジンシステム201を第1の実施形態と同様にモデル化し、同様の制御手法を適用することができる。すなわち、同定器221は、操作量DKAF及び偏差量DKに基づいて、第1の実施形態と同様の演算処理により、修正モデルパラメータパラメータベクトル θ_L を算出し、予測器223は、操作量DKAF、偏差量DK及び修正モデルパラメータベクトル θ_L に基づいて、第1の実施形態と同様の演算処理により、予測偏差量PREDKを算出し、適応スライディングモードコントローラ222は、予測偏差量PREDK及び修正モデルパラメータベクトル θ_L に基づいて、第1の実施形態と同

様の演算処理により、予測偏差量 $PREDK$ を制御目標値 $DKCMD$ に一致させるように、操作量 DKA を算出する。したがって、制御目標値 $DKCMD$ として、所望の空燃比修正値（基準値 KBS との偏差量）を設定することにより、エンジン 2.1 2 に供給される混合気の空燃比を所望の空燃比に一致させることができる。

本実施形態では、同定器 2 2 1 が同定手段に相当し、同定誤差算出手段及び同定誤差修正手段を含む。また予測器 2 2 3 が予測手段に相当する。

（第 6 の実施形態）

図 4 7 は、本発明の第 6 の実施形態にかかる制御系の構成を示すブロック図である。この制御系は、図 4 6 の操作量決定部 2 0 5 を操作量決定部 2 0 5 a に代えたものであり、第 2 の実施形態として示した制御系に対応する。なお、以下に説明する以外は第 5 の実施形態と同一である。

操作量決定部 2 0 5 a は、同定器 2 2 1 a と、適応スライディングモードコントローラ 2 2 2 a と、パラメータスケジューラ 2 2 4 とからなる。

同定器 2 2 1 a、適応スライディングモードコントローラ 2 2 2 a 及びパラメータスケジューラ 2 2 4 は、それぞれ第 2 の実施形態におけるモデルパラメータ同定器 2 2 a、適応スライディングモードコントローラ 2 1 a 及びモデルパラメータスケジューラ 2 5 に対応し、これらと同様の機能を有する。

すなわち、パラメータスケジューラ 2 2 4 は、偏差量 DK に基づいて第 2 の実施形態と同様の演算処理により、基準モデルパラメータベクトル $\theta base$ を算出し、同定器 2 2 1 a は、操作量 $DKAF$ 、偏差量 DK 及び基準モデルパラメータベクトル $\theta base$ に基づいて第 2 の実施形態と同様の演算処理により、修正モデルパラメータベクトル θL を算出し、適応スライディングモードコントローラ 2 2 2 a は、偏差量 DK 及び修正モデルパラメータベクトル θL に基づいて、第 2 の実施形態と同様の演算処理により偏差量 DK を制御目標値 $DKCMD$ に一致させるように、操作量 $DKAF$ を算出する。したがって、制御目標値 $DKCMD$ として、所望の空燃比修正値（基準値 KBS との偏差量）を設定することにより、エンジン 2 1 2 に供給される混合気の空燃比を所望の空燃比に一致させることができる。

本実施形態では、同定器 2 2 1 a が同定手段に相当し、同定誤差算出手段、更新ベクトル算出手段及び更新ベクトル修正手段を含む。

(その他の実施形態)

モデルパラメータの同定誤差 $i d e(k)$ の算出手法として、 δ 修正法に代えて、以下に述べる ε 修正法を採用してもよい。すなわち、前記式 (1 5 c) に代えて、下記式 (1 5 g) により、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出するようにしてもよい。

$$\begin{aligned} \theta(k) = & EPS^k \theta(0) \\ & + EPS^{k-1} \times KP(1) i d e(1) \\ & + EPS^{k-2} \times KP(2) i d e(2) + \dots \\ & + EPS \times KP(k-1) i d e(k-1) + KP(k) i d e(k) \end{aligned} \quad (15 g)$$

ここで、EPS は下記式で示すように、忘却係数 EPS_i ($i=1 \sim 4$) を要素とする忘却係数ベクトルである。

$$EPS = [EPS_1, EPS_2, EPS_3, EPS_4]$$

忘却係数 EPS_1 , EPS_2 及び EPS_4 は、前記忘却係数 $DELTA_i$ と同様に、0 から 1 の間の値に設定され ($0 < EPS_i < 1$)、過去の同定誤差の影響を徐々に減少させる機能を有する。

ただし ε 修正法の場合、モデルパラメータ b_1 の演算に係る係数 EPS_3 は、必ず「1」にする必要がある。これは、以下の理由による。 ε 修正法の場合、同定誤差 $i d e(k)$ が小さくなると、モデルパラメータはすべてゼロ近傍の値となる。ところが、モデルパラメータ b_1 は、式 (9 b)、(10 b)、(11 b) の分母に適用されるため、モデルパラメータ b_1 が「0」に近づくと、制御対象への入力 U_{s1} が発散するからである。

式 (1 5 g) は、初期値ベクトル $\theta(0)$ にも忘却係数ベクトル EPS が乗算されている点で、式 (1 5 c) と異なる。

式 (1 5 g) を漸化式形式に書き直すと、下記式 (1 5 h) が得られる。前記式 (1 5) に代えて下記式 (1 5 h) を用いてモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出する手法を、 ε 修正法と呼ぶ。

$$\theta(k) = EPS \times \theta(k-1) + KP(k) \text{ide}(k) \quad (15h)$$

ϵ 修正法によっても、過去の同定誤差 ide の影響が低減されるので、モデルパラメータのドリフトを防止することができる。

また第2の実施形態では、 δ 修正法によりモデルパラメータのドリフトを防止するようにしたが、第1の実施形態と同様に、不感帯処理（図14）により修正同定誤差 $\text{idn1}(k)$ を算出し、これを用いてモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出するようにしてもよい。

また第1の実施形態において、不感帯処理に代えて δ 修正法または ϵ 修正法を採用してもよい。さらに、第1の実施形態において δ 修正法を採用する場合には、第2の実施形態と同様にモデルパラメータスケジューラを導入し、モデルパラメータスケジューラにより算出される基準モデルパラメータベクトル θ_{base} に更新ベクトルを加算する形式でモデルパラメータベクトル θ を算出することが望ましい。

産業上の利用可能性

本発明のプラントの制御装置によれば、制御対象であるプラントをモデル化することにより得られる制御対象モデルのモデルパラメータの同定が行われ、同定したモデルパラメータを用いてスライディングモード制御を行う場合の制御をより安定化することができる。より具体的には、本発明は、内燃機関に供給される空気量を制御するスロットル弁の駆動装置、内燃機関を含む燃焼システム、あるいは化学プラントなどの制御に適用可能であり、これらの制御対象をスライディングモード制御によって制御する際の安定性向上に寄与する。また本発明は、クランク軸を鉛直方向とした船外機などのような船舶推進機用エンジンなどの制御にも適用が可能である。

請求の範囲

プラントをモデル化することにより得られる制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、前記同定手段により同定されたモデルパラメータベクトルを用いて前記プラントをスライディングモードコントローラとを備えたプラントの制御装置で

前記同定手段は、前記モデルパラメータベクトルの同定誤差を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差に応じて更新ベクトルを算出する更新ベクトル算出手段と、更新ベクトルの少なくとも1つの要素の過去値に0より大きく1より小さい値を乗算することにより、前記更新ベクトルを修正する更新ベクトル修正手段とを有し、前記モデルパラメータの基準ベクトルに修正された更新ベクトルを用いて、前記モデルパラメータベクトルを算出するプラントの制御装置。

前記更新ベクトル修正手段は、前記更新ベクトルの、前記プラントの入力及び出力の要素または前記プラントの入出力に関わらない要素については、前記請求項1に記載の制御装置。

前記更新ベクトル修正手段は、前記基準ベクトルの少なくとも1つの要素の所定値を乗算する請求項1または2に記載の制御装置。

プラントをモデル化することにより得られる制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、前記同定手段により同定されたモデルパラメータベクトルを用いて前記プラントをスライディングモードコントローラとを備えたプラントの制御装置であ

前記同定手段は、前記モデルパラメータベクトルの同定誤差を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差が所定の範囲内にあるときは、前記同定誤差を減少させる同定誤差修正手段とを有し、該同定誤差修正手段により修正された

同定誤差を用いて前記モデルパラメータベクトルを算出するプラントの制御装置。

5 前記同定誤差修正手段は、前記同定誤差が前記所定範囲内にあるときは、前記同定誤差を 0 とする請求項 4 に記載の制御装置。

6 前記所定範囲を、制御目標値の変化量または前記プラントの出力の変化量に応じて設定する請求項 4 または 5 に記載の制御装置。

7 前記同定手段は、固定ゲインアルゴリズムを用いて前記モデルパラメータベクトルの同定を行う請求項 1 から 6 の何れかに記載の制御装置。

8 前記同定誤差算出手段は、前記同定誤差のローパスフィルタ処理を行い、該処理後の同定誤差を出力する請求項 1 から 7 の何れかに記載の制御装置。

9 前記プラントの出力の予測値を算出する予測手段をさらに備える請求項 1 から 8 の何れかに記載の制御装置。

10 前記予測手段は、前記同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて前記予測値の算出を行う請求項 9 に記載の制御装置。

11 前記スライディングモードコントローラによる前記プラントへの制御入力は、適応則入力を含む請求項 1 から 9 の何れかに記載の制御装置。

12 前記プラントは、内燃機関のスロットル弁と、該スロットル弁を駆動する駆動手段とを有するスロットル弁駆動装置を含み、前記スライディングモードコントローラは、前記スロットル弁の開度を目標開度に一致させるように、前記スロットル弁駆動装置への制御入力を決定するパラメータを算出する請求項 1 から 11 の何れかに記載の制御装置。

13 前記プラントは、内燃機関と、該機関に燃料を供給する燃料供給手段とを有する機関システムを含み、前記スライディングモードコントローラは、前記機関に供給される混合気の空燃比を目標空燃比に一致させるように、前記機関システムへの制御入力を決定するパラメータを算出する請求項1から11の何れかに記載の制御装置。

14 プラントをモデル化することにより得られる制御対象モデルのモデルパラメータを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて前記プラントを制御する制御手段とを備えたプラントの制御装置であって、

前記同定手段は、前記プラントの状態量に応じて基準モデルパラメータを算出する基準モデルパラメータ算出手段と、前記モデルパラメータの同定誤差を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差に応じて更新成分を算出する更新成分算出手段とを有し、該更新成分を前記基準モデルパラメータに加算することにより、前記モデルパラメータを算出するプラントの制御装置。

15 前記プラントの状態量は、前記プラントの動特性変化を示すパラメータである請求項14に記載の制御装置。

16 前記プラントの動特性変化を示すパラメータは前記プラントの出力であるクレーム15の制御装置。

17 前記プラントの動特性変化を示すパラメータは前記プラント出力の制御目標値であるクレーム15の制御装置。

18 前記制御手段は、スライディングモード制御により前記プラントを制御するものである請求項14または15に記載の制御装置。

19 前記制御手段による前記プラントへの制御入力は、適応則入力を含む請求項18に記載の制御装置。

20 前記プラントは、内燃機関のスロットル弁と、該スロットル弁を駆動する駆動手段とを有するスロットル弁駆動装置を含み、前記制御手段は、前記スロットル弁の開度を目標開度に一致させるように、前記スロットル弁駆動装置への制御入力を決定するパラメータを算出する請求項14から19の何れかに記載の制御装置。

21 スライディングモード制御によりプラントを制御するスライディングモードコントローラを備えたプラントの制御装置であって、

前記スライディングモードコントローラは、

前記プラントの出力と制御目標値との偏差に基づく線形関数である切換関数の値を算出する切換関数値算出手段と、

スライディングモード制御の安定判別を行う判別手段と、

前記偏差に基づく偏差状態量を、前記切換関数値が0となる切換直線上に拘束するための等価制御入力を算出する等価制御入力算出手段と、

前記偏差状態量を前記切換直線上に載せるための到達則入力を算出する到達則入力算出手段と、

少なくとも前記等価制御入力及び前記到達則入力を加算することにより、前記プラントへの制御入力を算出する制御入力算出手段と、

スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、前記等価制御入力の絶対値を減少させる安定化手段とを備えるプラントの制御装置。

22 スライディングモード制御によりプラントを制御するスライディングモードコントローラを備えたプラントの制御装置であって、

前記スライディングモードコントローラは、

前記プラントの出力と制御目標値との偏差に基づく線形関数である切換関数の値を算出する切換関数値算出手段と、

スライディングモード制御の安定判別を行う判別手段と、
前記偏差に基づく偏差状態量を、前記切換関数値が0となる切換直線上に拘束するための等価制御入力を算出する等価制御入力算出手段と、
前記偏差状態量を前記切換直線上に載せるための到達則入力を算出する到達則入力算出手段と、
少なくとも前記等価制御入力及び前記到達則入力を加算することにより、前記プラントへの制御入力を算出する制御入力算出手段と、
スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、前記到達則入力の算出に用いる制御ゲインを、前記スライディングモード制御をより安定化する値に変更する安定化手段とを備えるプラントの制御装置。

23 前記スライディングモードコントローラは、前記偏差状態量を前記切換直線上に載せるための適応則入力を算出する適応則入力算出手段を有し、前記制御入力算出手段は、前記等価制御入力、前記到達則入力及び前記適応則入力を加算することにより、前記プラントへの制御入力を算出する請求項21または22に記載の制御装置。

24 スライディングモード制御によりプラントを制御するスライディングモードコントローラを備えたプラントの制御装置であって、
前記スライディングモードコントローラは、
前記プラントの出力と制御目標値との偏差に基づく線形関数である切換関数の値を算出する切換関数値算出手段と、
スライディングモード制御の安定判別を行う判別手段と、
前記偏差に基づく偏差状態量を、前記切換関数値が0となる切換直線上に拘束するための等価制御入力を算出する等価制御入力算出手段と、
前記偏差状態量を前記切換直線上に載せるための到達則入力を算出する到達則入力算出手段と、
前記偏差状態量を前記切換直線上に載せるための適応則入力を算出する適応則入力算出手段と、

前記等価制御入力、前記到達則入力及び適応則入力を加算することにより、前記プラントへの制御入力を算出する制御入力算出手段と、

スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、前記適応則入力の算出に用いる制御ゲインを、前記スライディングモード制御をより安定化する値に変更する安定化手段とを備えるプラントの制御装置。

25 スライディングモード制御によりプラントを制御するスライディングモードコントローラを備えたプラントの制御装置において、

前記スライディングモードコントローラは、

前記プラントの出力と制御目標値との偏差に基づく線形関数である切換関数の値を算出する切換関数値算出手段と、

スライディングモード制御の安定判別を行う判別手段と、

スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、前記スライディングモード制御の応答速度を低下させるように前記切換関数を変更する安定化手段とを備えるプラントの制御装置。

26 前記判別手段は、前記切換関数値に基づいて前記安定判別を行う請求項21から25のいずれかに記載のプラントの制御装置。

27 プラントをモデル化することにより得られる制御対象モデルのモデルパラメータを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて、スライディングモード制御により前記プラントを制御するスライディングモードコントローラとを備えたプラントの制御装置であって、

前記スライディングモードコントローラは、

スライディングモード制御の安定判別を行う判別手段と、

スライディングモード制御が不安定と判別されたときは、所定のモデルパラメータの使用を禁止する安定化手段とを備えるプラントの制御装置。

28 前記プラントは、内燃機関のスロットル弁と、該スロットル弁を駆動する駆動手段とを有するスロットル弁駆動装置を含み、前記スライディングモードコントローラは、前記スロットル弁の開度を目標開度に一致させるように、前記スロットル弁駆動装置への制御入力を決定するパラメータを算出する請求項21から27の何れかに記載のプラントの制御装置。

29 プラントをモデル化することにより得られる制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータベクトルを用いて前記プラントを制御する制御手段とを備えたプラントの制御装置であって、

前記同定手段は、前記モデルパラメータベクトルの同定誤差を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差に応じて更新ベクトルを算出する更新ベクトル算出手段と、前記同定誤差の過去値の影響を減少させるように前記更新ベクトルを修正する更新ベクトル修正手段と、前記モデルパラメータの基準ベクトルに修正された更新ベクトルを加算することにより、前記モデルパラメータベクトルを算出するモデルパラメータベクトル算出手段と、前記モデルパラメータベクトル算出手段により算出されるモデルパラメータベクトルの要素の値を、所定リミット範囲内に制限する制限手段とを有するプラントの制御装置。

30 前記更新ベクトル算出手段は、固定ゲインアルゴリズムを用いて前記更新ベクトルの算出を行う請求項29に記載の制御装置。

31 前記更新ベクトル修正手段は、前記更新ベクトルの少なくとも1つの要素の過去値に0より大きく1より小さい所定値を乗算することにより、前記更新ベクトルの修正を行う請求項29または30に記載の制御装置。

32 前記更新ベクトル修正手段は、前記更新ベクトルの、前記プラントの入力に関わる要素または前記プラントの入出力に関わらない要素については、前記所定値を乗算しない請求項31に記載の制御装置。

3 3 前記更新ベクトル修正手段は、前記基準ベクトルの少なくとも1つの要素にも前記所定値を乗算する請求項3 1または3 2に記載の制御装置。

3 4 前記基準ベクトルは、前記プラントの動特性変化を示すパラメータに応じて算出される請求項2 9から3 2の何れかに記載のプラントの制御装置。

3 5 プラントをモデル化することにより得られる制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータベクトルを用いて前記プラントを制御する制御手段とを備えたプラントの制御装置であって、

前記同定手段は、前記モデルパラメータベクトルの同定誤差を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差が所定の範囲内にあるときは、前記同定誤差を減少方向に修正する同定誤差修正手段と、該同定誤差修正手段により修正された同定誤差を用いて前記モデルパラメータベクトルを算出するモデルパラメータベクトル算出手段と、前記モデルパラメータベクトル算出手段により算出されるモデルパラメータベクトルの要素の値を、所定リミット範囲内に制限する制限手段とを有するプラントの制御装置。

3 6 前記制限手段は、前記モデルパラメータベクトルの複数の要素が所定の関係を満たすように、前記複数の要素の値を制限する請求項2 9から3 5の何れかに記載の制御装置。

3 7 前記同定誤差修正手段は、前記同定誤差が前記所定範囲内にあるときは、前記同定誤差を0とする請求項3 5に記載のプラントの制御装置。

3 8 前記プラントは、内燃機関のスロットル弁と、該スロットル弁を駆動する駆動手段とを有するスロットル弁駆動装置を含み、前記制御手段は、前記スロットル弁の開度を目標開度に一致させるように、前記スロットル弁駆動装置への

制御入力を決定するパラメータを算出する請求項 29 から 37 の何れかに記載の制御装置。

39 プラントを所定の基準値を用いてモデル化することにより得られる制御対象モデルの複数のモデルパラメータを同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて前記プラントを制御する制御手段とを備えたプラントの制御装置であって、

前記複数のモデルパラメータは、前記プラントの入出力に関わらないモデルパラメータを含み、該プラントの入出力に関わらないモデルパラメータに基づいて前記所定の基準値を補正する補正手段を有するプラントの制御装置。

40 前記補正手段は、前記プラントの入出力に関わらないモデルパラメータを統計処理することにより補正值を算出し、該補正值によって前記所定の基準値を補正する請求項 39 に記載の制御装置。

41 前記制御対象モデルは、前記プラントの出力に関わる第 1 のモデルパラメータと、前記プラントへの制御入力に関わる第 2 のモデルパラメータと、前記制御入力及びプラントの出力のいずれにも関わらない第 3 のモデルパラメータとによって定義される請求項 39 または 40 に記載の制御装置。

42 前記プラントは、内燃機関のスロットル弁と、該スロットル弁を駆動する駆動手段とを有するスロットル弁駆動装置を含み、前記制御装置は、前記スロットル弁の開度を目標開度に一致させるように、前記スロットル弁駆動装置への制御入力を決定するパラメータを算出する請求項 39 から 41 の何れかに記載の制御装置。

43 前記スロットル弁駆動装置は、前記スロットル弁を閉弁方向に付勢する第 1 付勢手段と、前記スロットル弁を開弁方向に付勢する第 2 付勢手段とを備え、前記駆動手段により前記スロットル弁を駆動しないときは、前記第 1 及び第 2

付勢手段により、前記スロットル弁をデフォルト開度に維持するものであり、前記所定の基準値は、前記デフォルト開度に設定する請求項 4 2 の制御装置。

4 4 内燃機関のスロットル弁と、該スロットル弁を駆動する駆動手段とを備えるスロットル弁駆動装置を制御する制御装置であって、

前記スロットル弁駆動装置をモデル化することにより得られる制御対象モデルのモデルパラメータを同定する同定手段と、

該同定手段により同定されたモデルパラメータに基づいて、前記スロットル弁の開度を目標開度に制御する制御手段とを備え、

前記同定手段は、前記モデルパラメータの同定誤差を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差が所定の範囲内にあるときは、前記同定誤差を減少方向に修正する同定誤差修正手段とを有し、該同定誤差修正手段により修正された同定誤差を用いて前記モデルパラメータを算出し、前記所定範囲を前記スロットル弁の開度または前記目標開度に応じた値に基づいて設定するスロットル弁駆動装置の制御装置。

4 5 前記同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて、未来のスロットル弁開度の予測値を算出する予測手段をさらに備える請求項 4 4 に記載の制御装置。

4 6 前記制御手段は、前記同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて、スライディングモード制御により前記スロットル弁駆動装置を制御する請求項 4 4 または 4 5 に記載の制御装置。

4 7 前記制御手段による前記スロットル弁駆動装置への制御入力は、適応則入力を含む請求項 4 6 に記載の制御装置。

図1

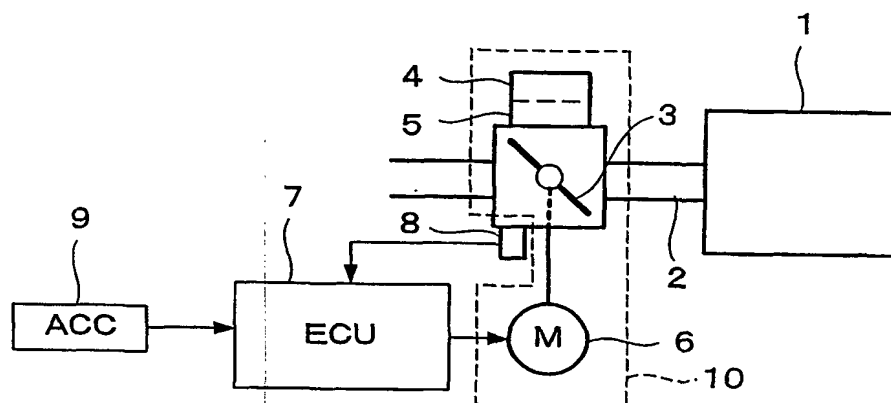


図2A

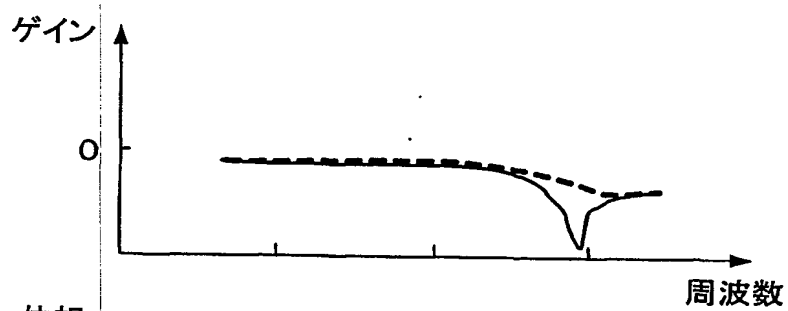


図2B

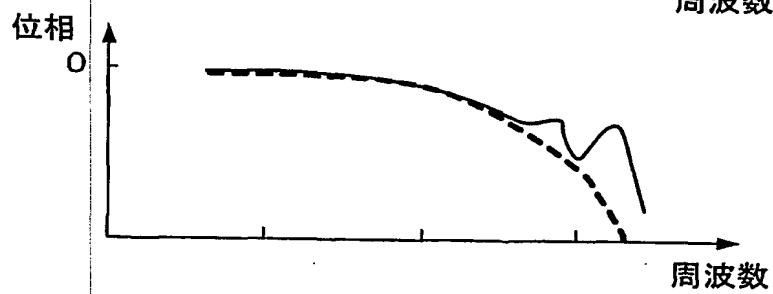


図3

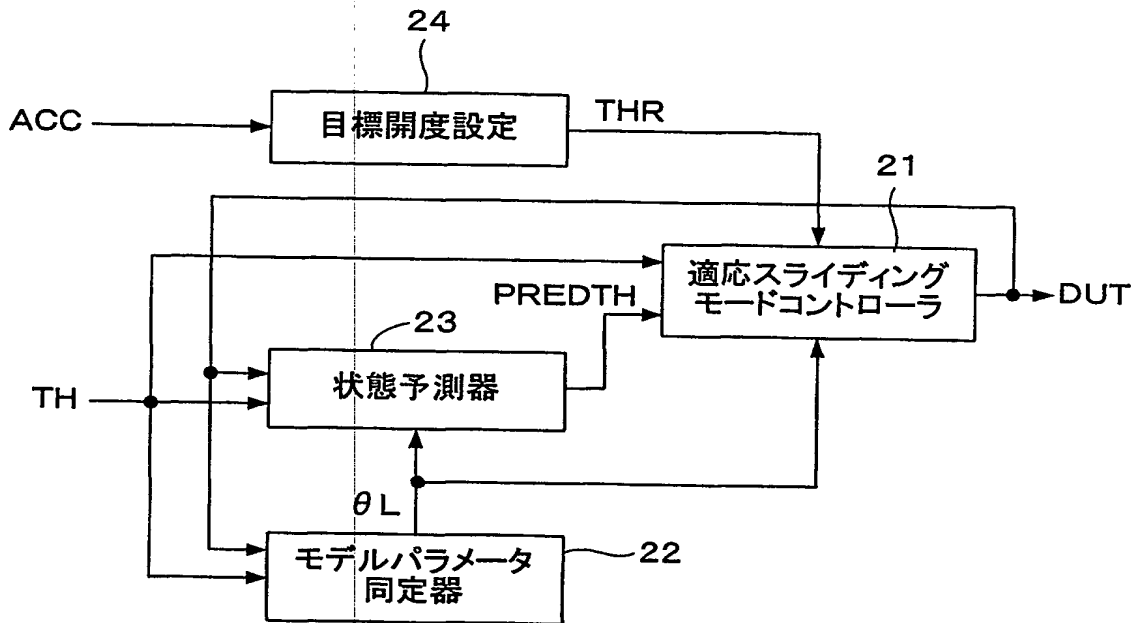


図4

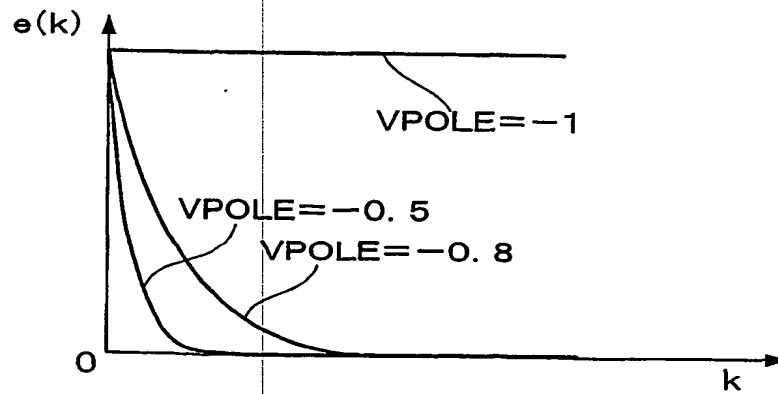


図5

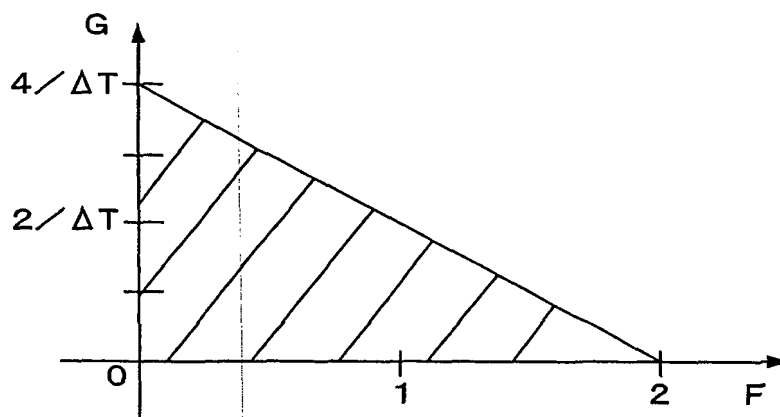


図6A

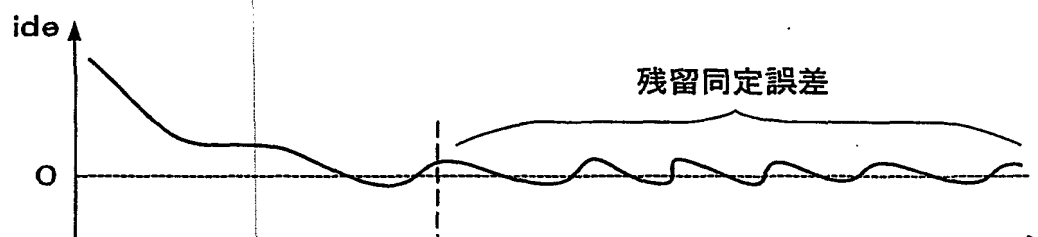


図6B

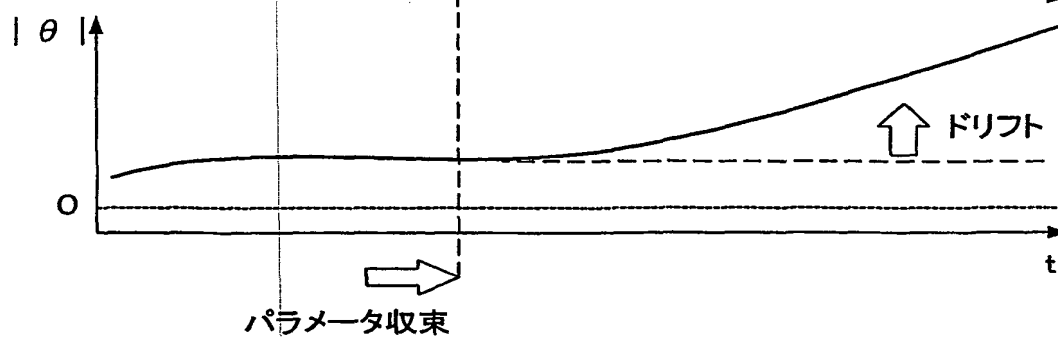


図7A

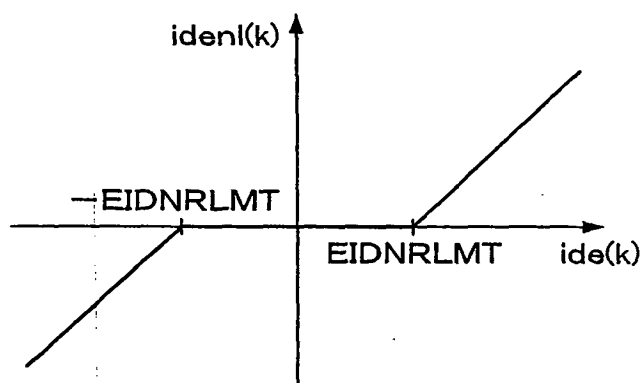


図7B

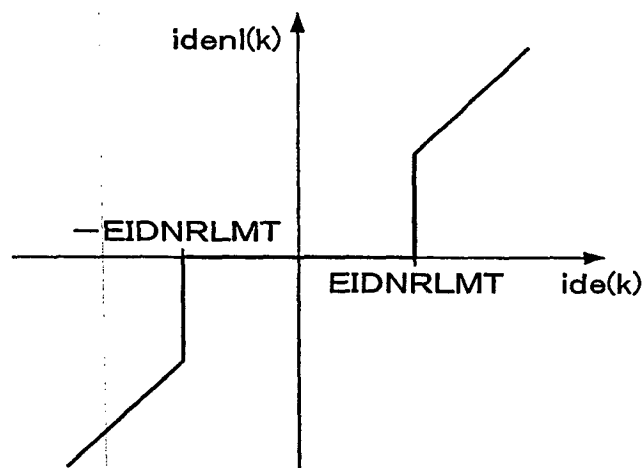


図7C

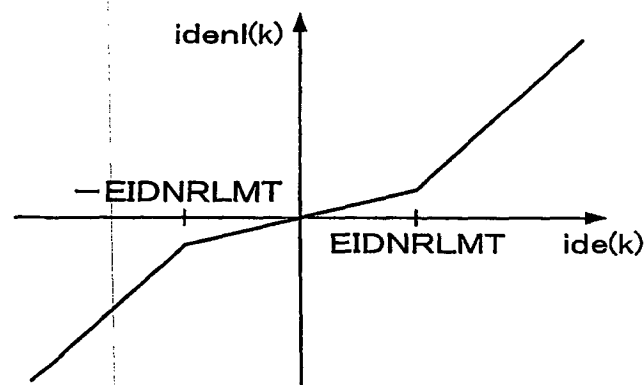


図8

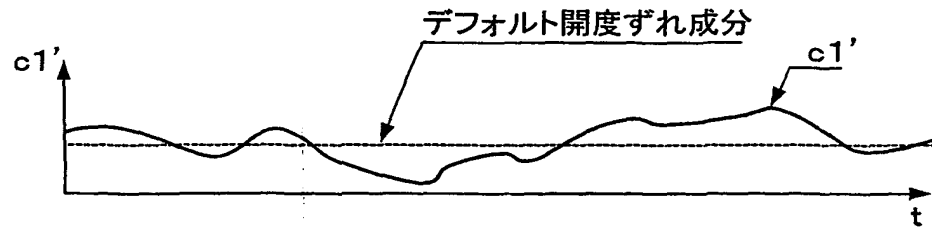


図9

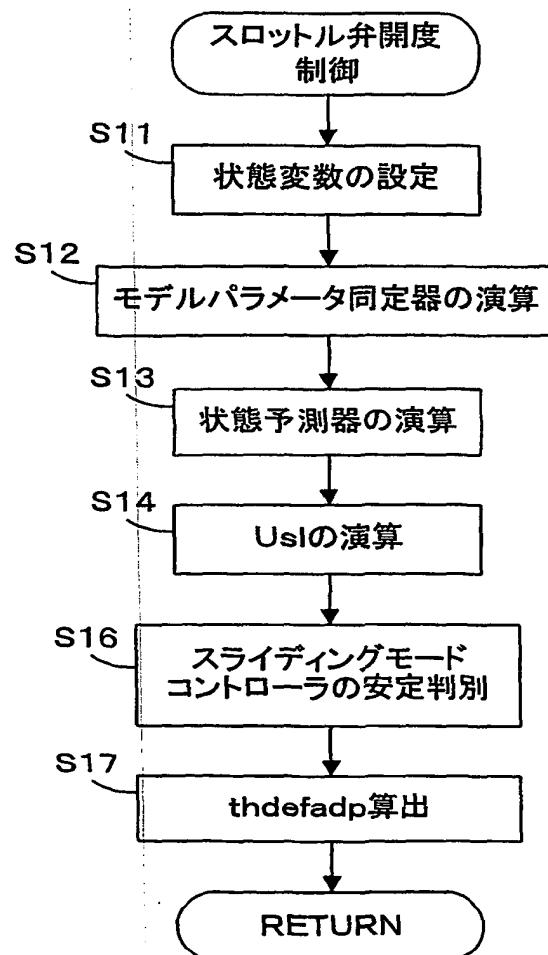


図10

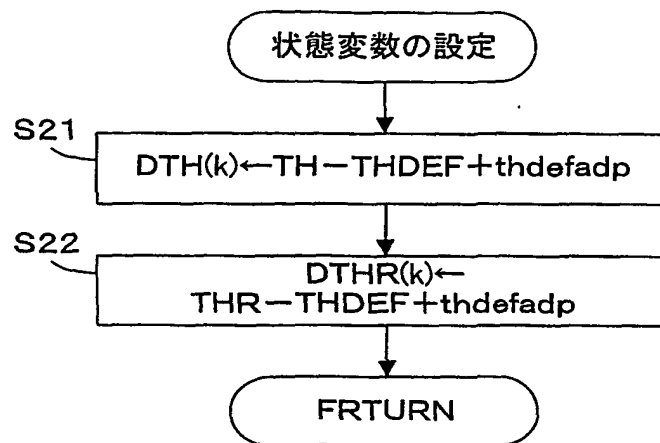


図11

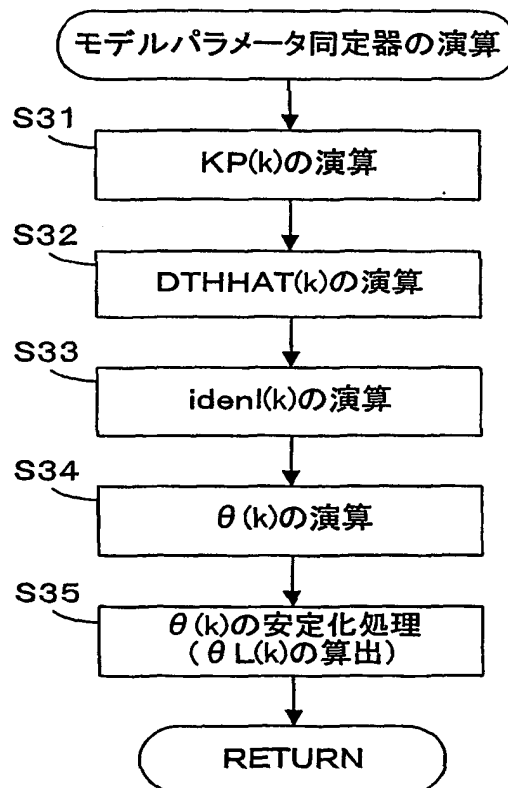
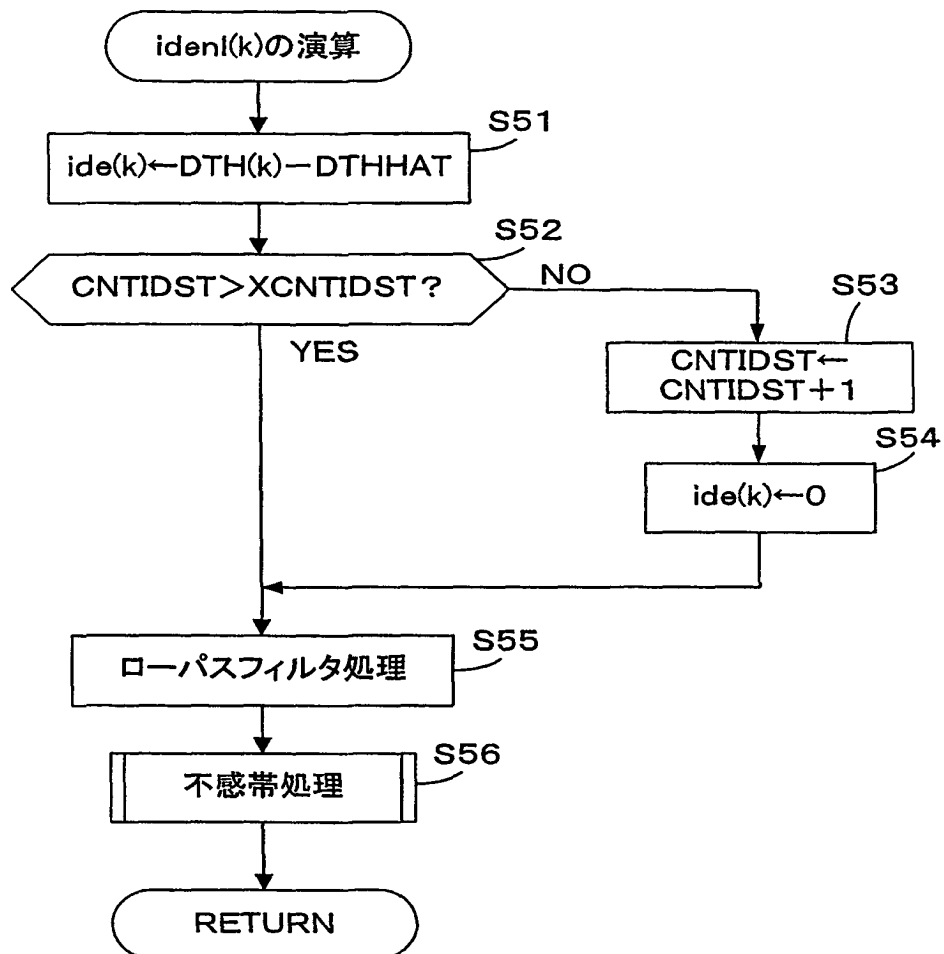


図12



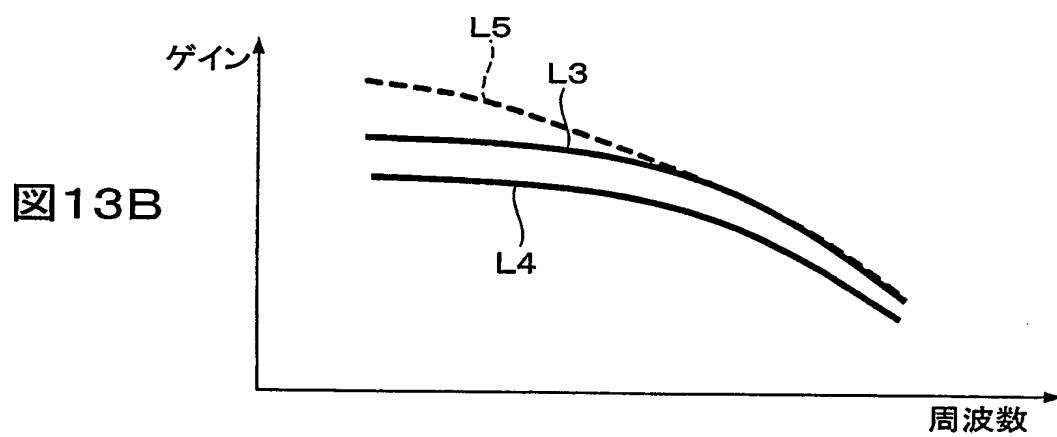
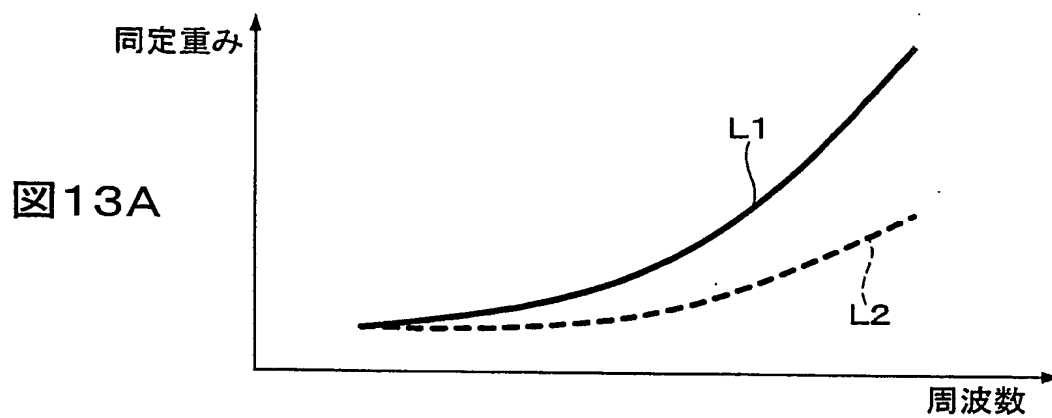


図14

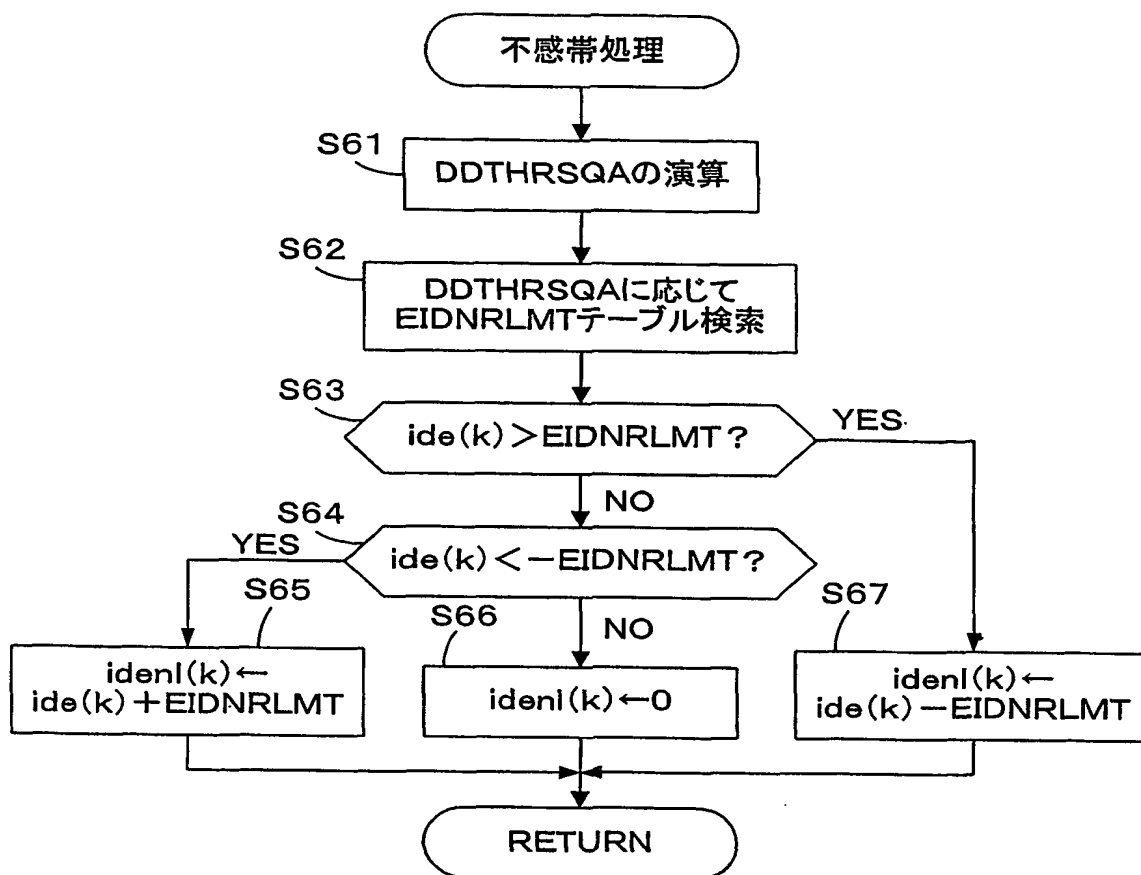


図15

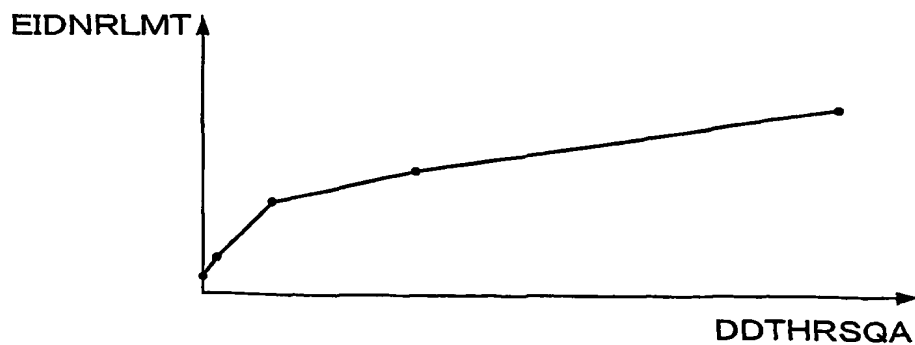


図16

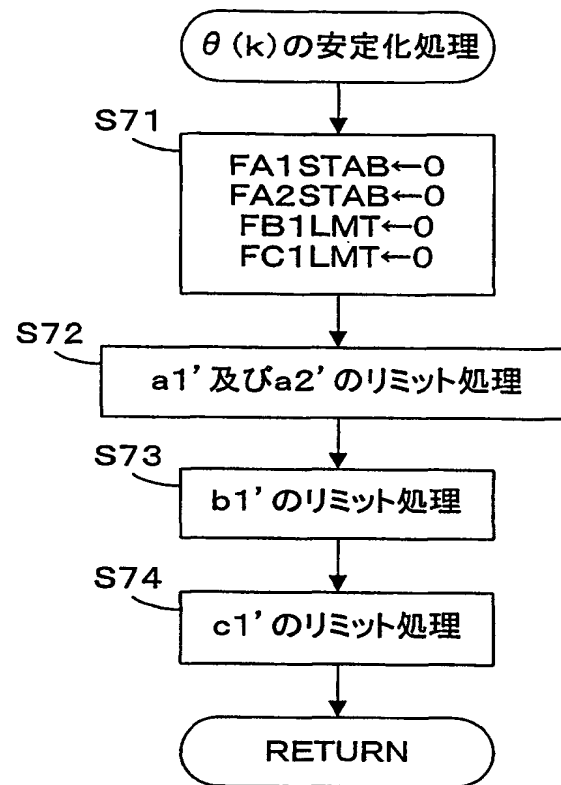


図17

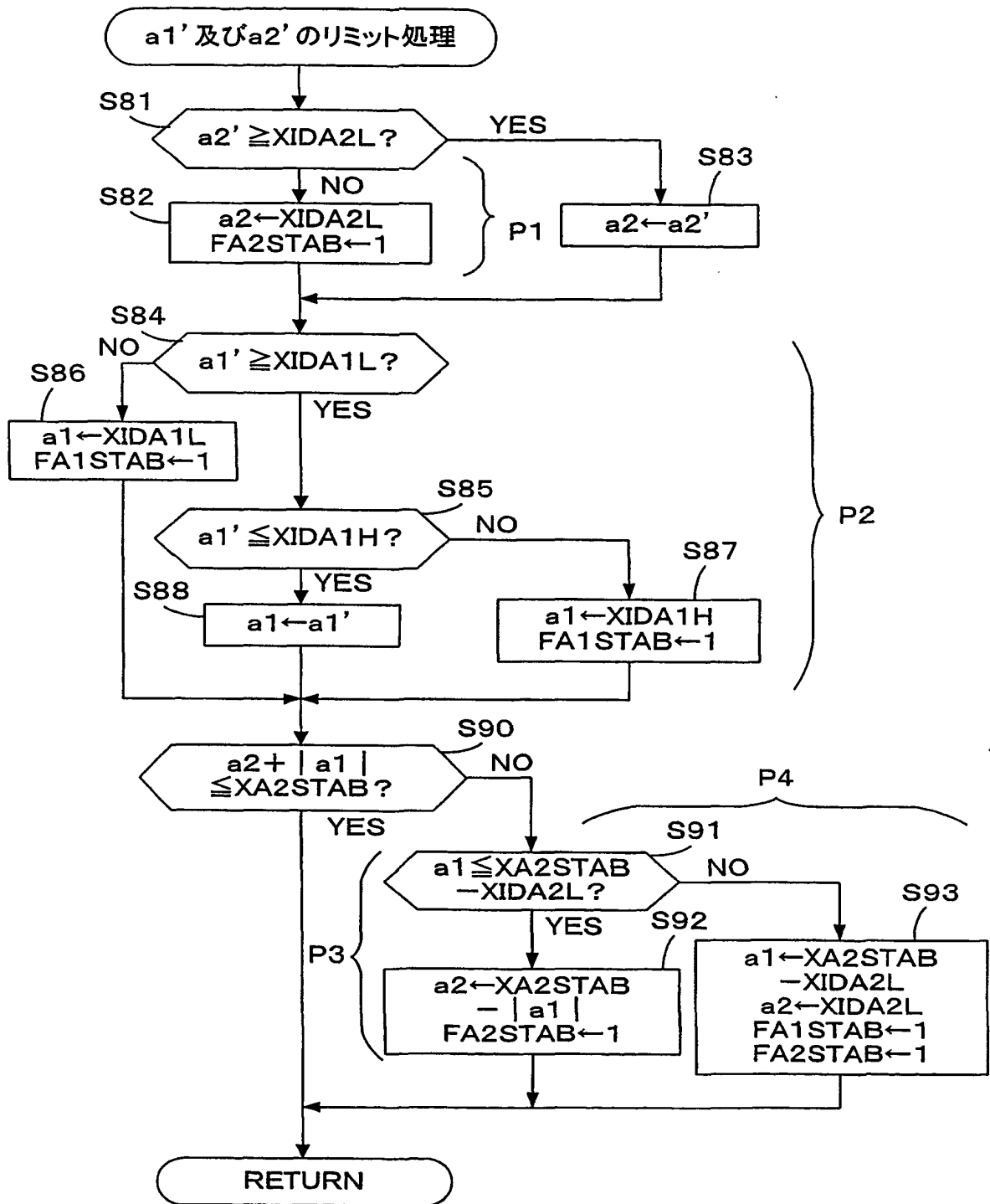


图 18

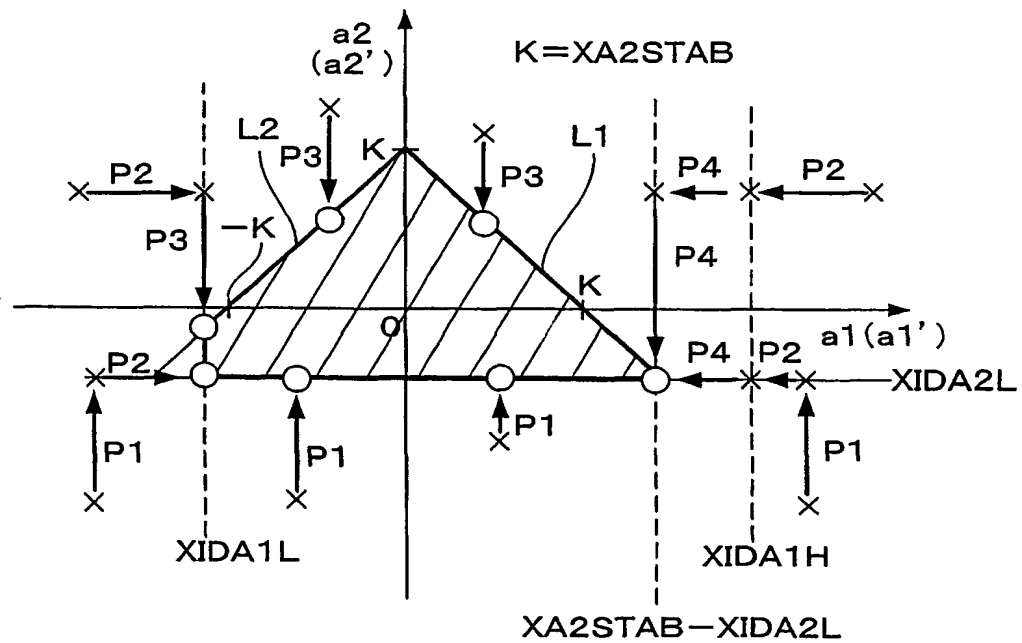


图 19

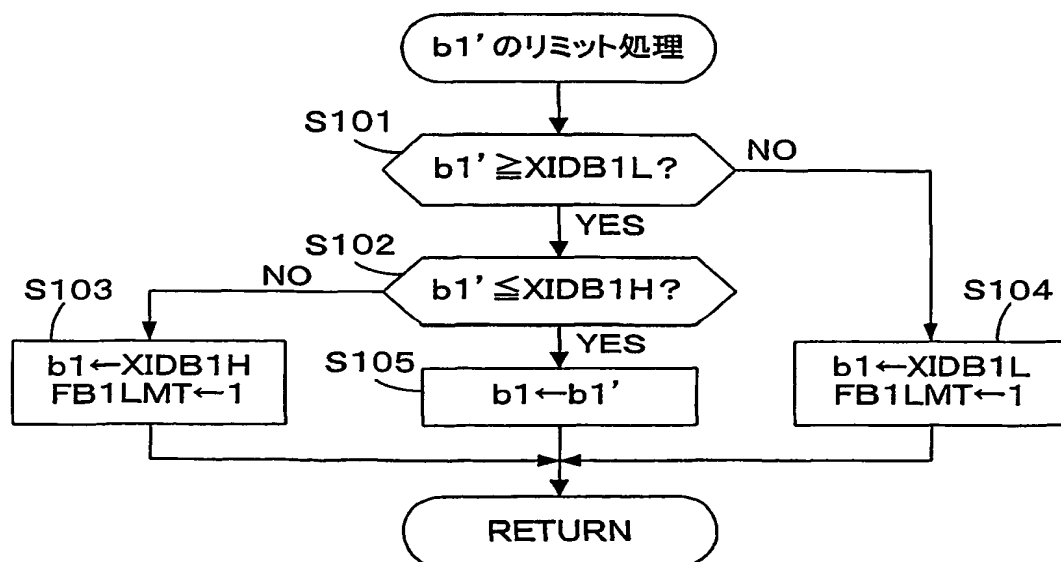


図20

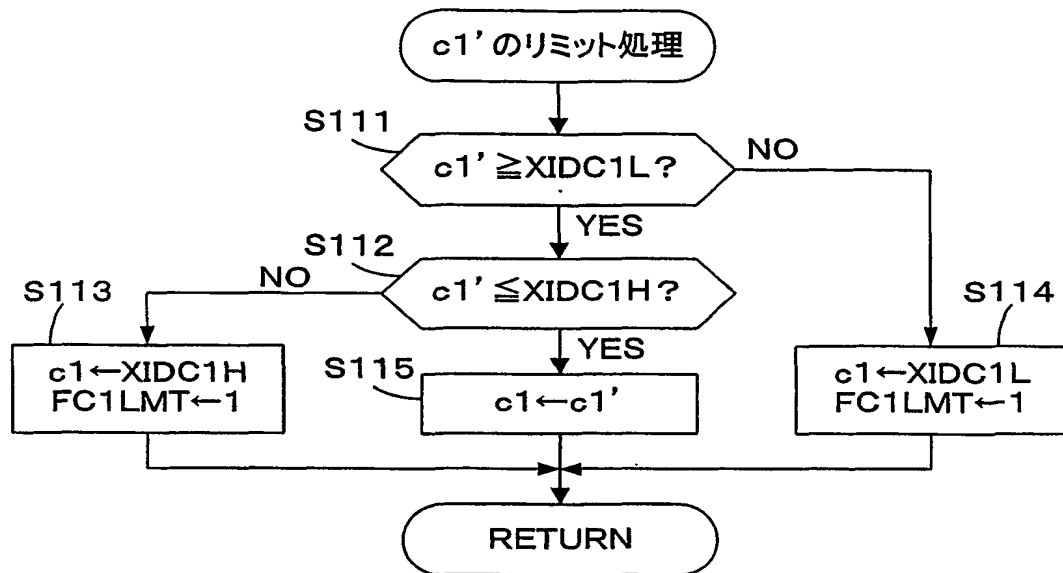


図21

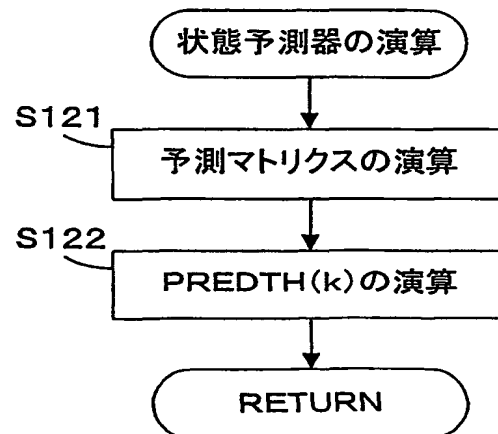


図22

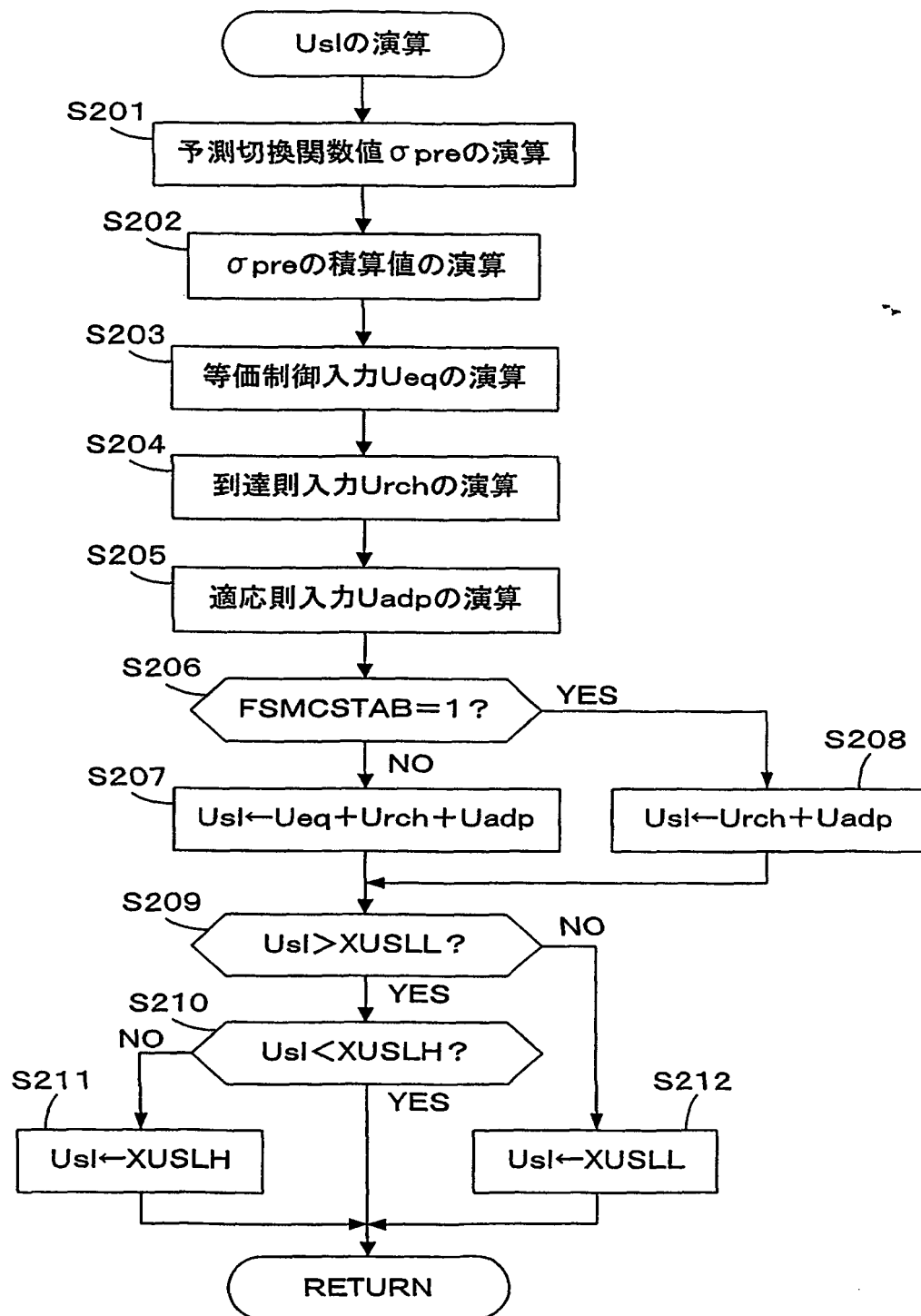


図23

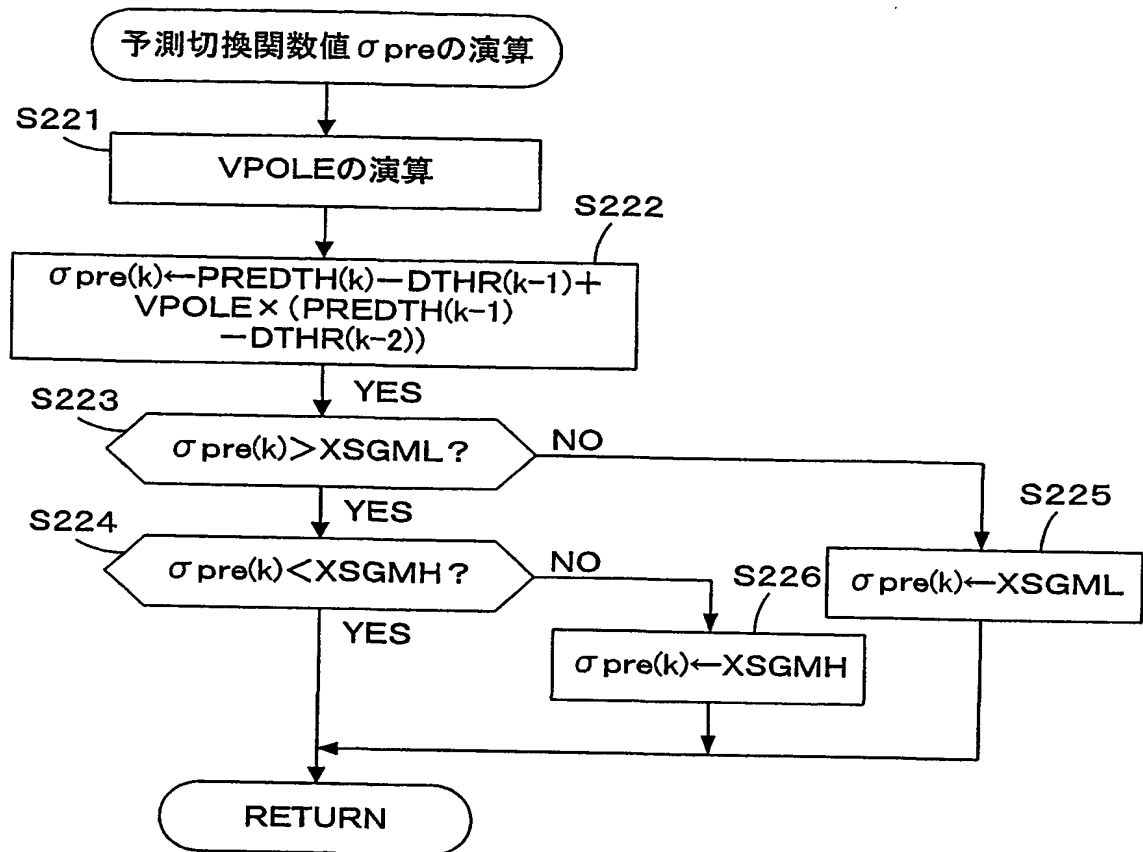


図24

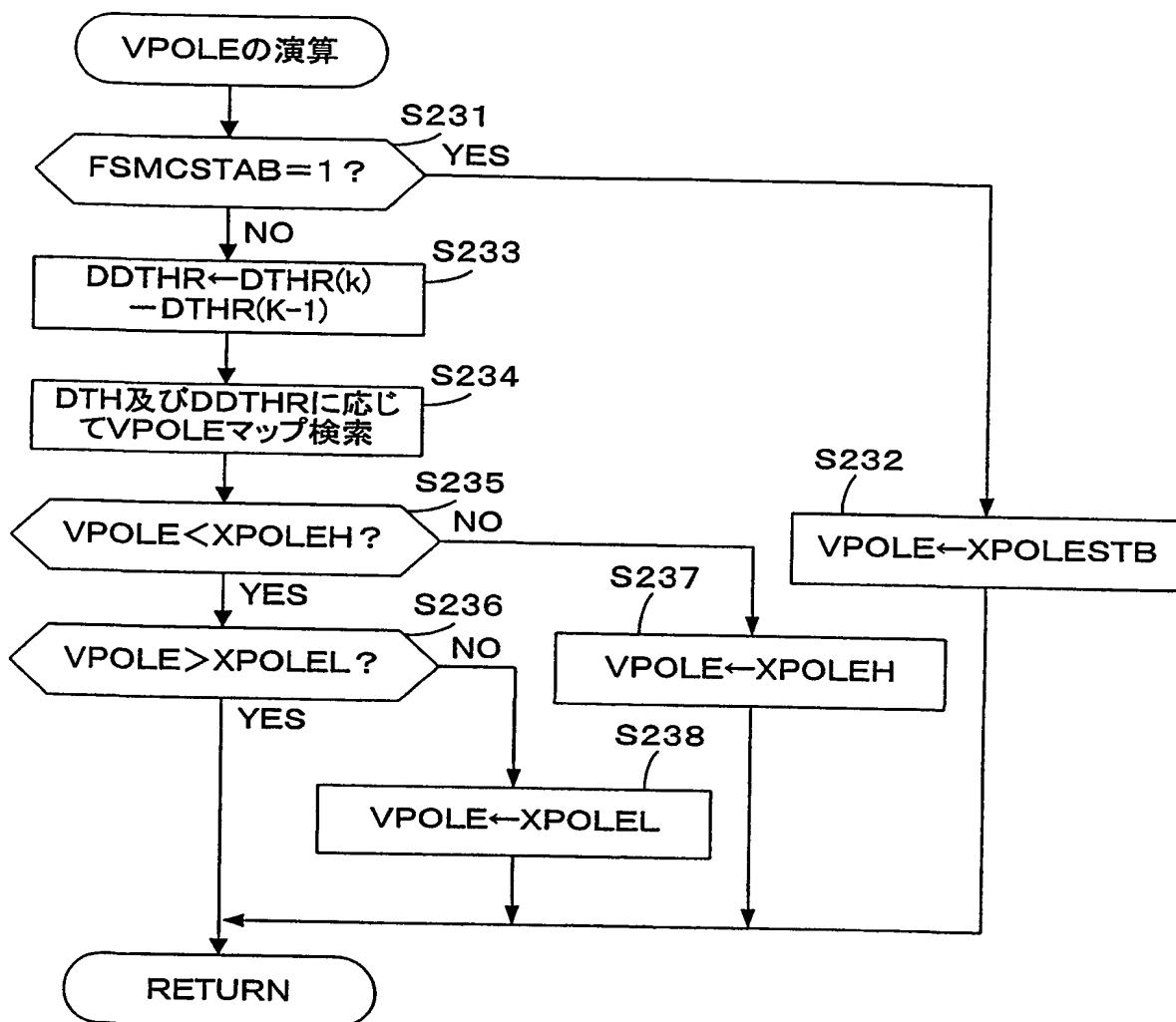


図25A

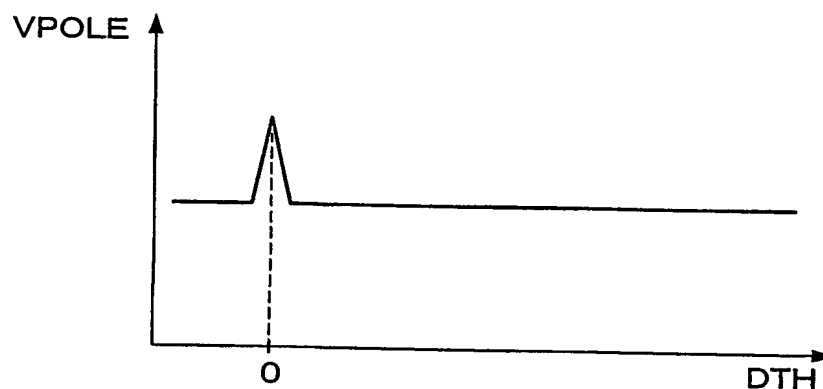


図25B

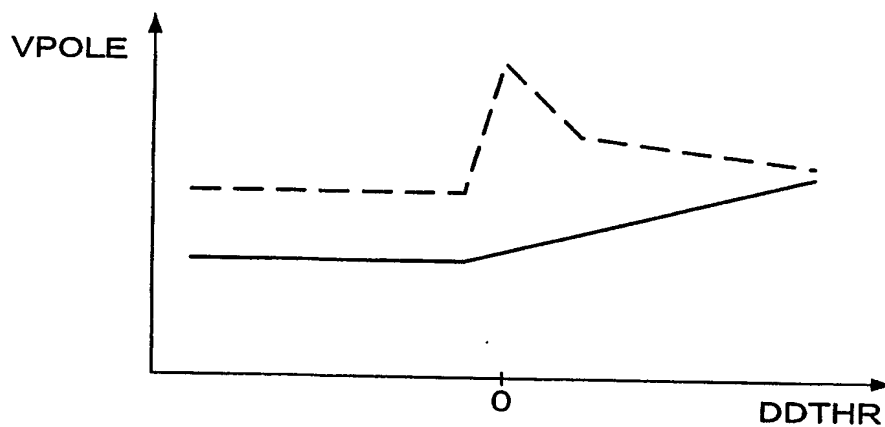


図25C

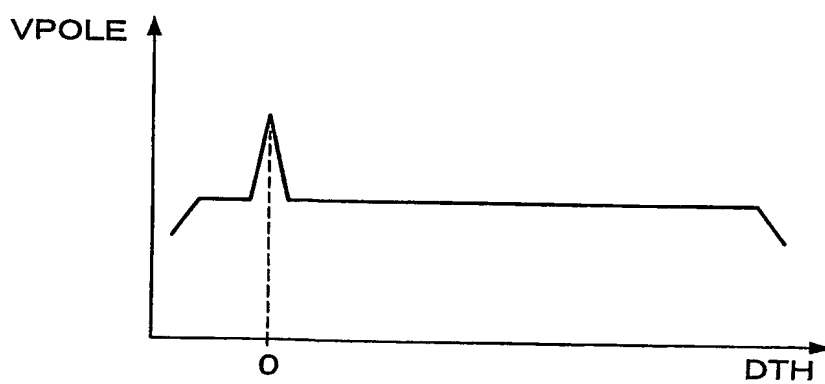


図26

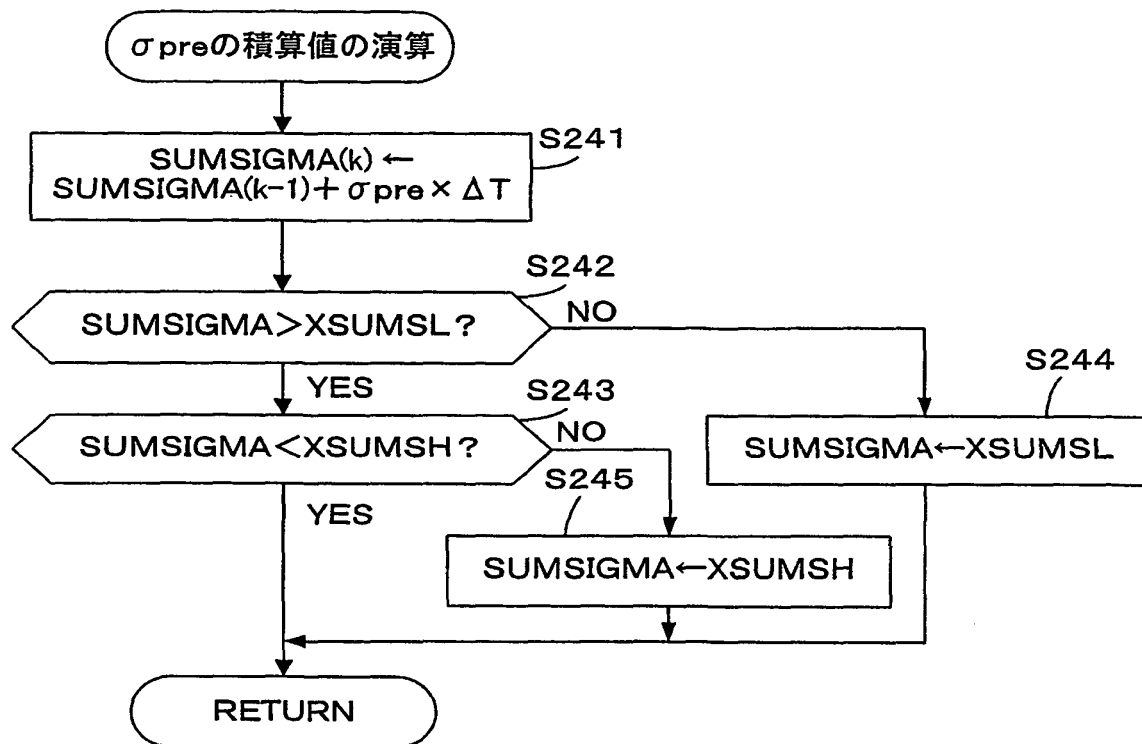


図27

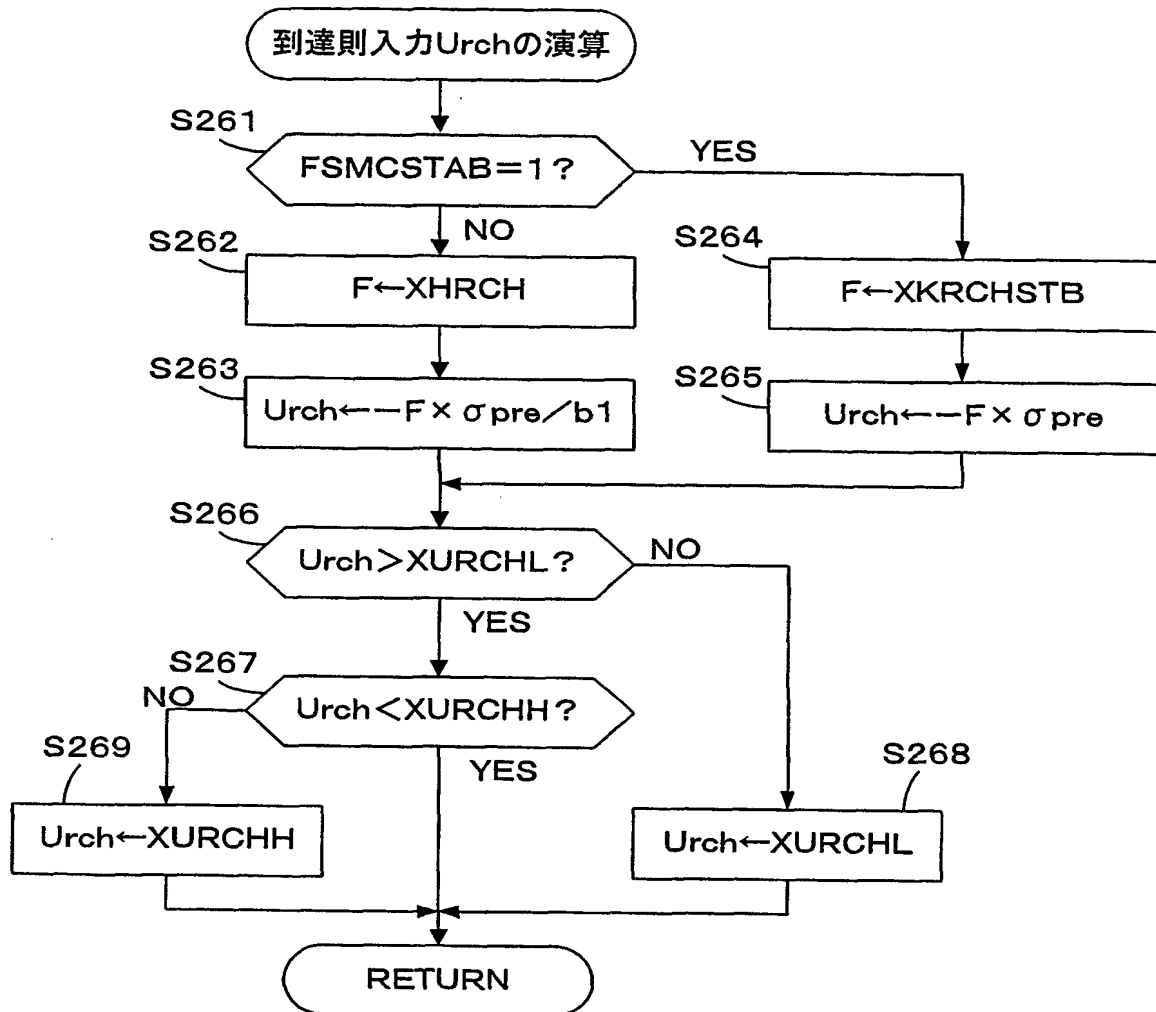


図28

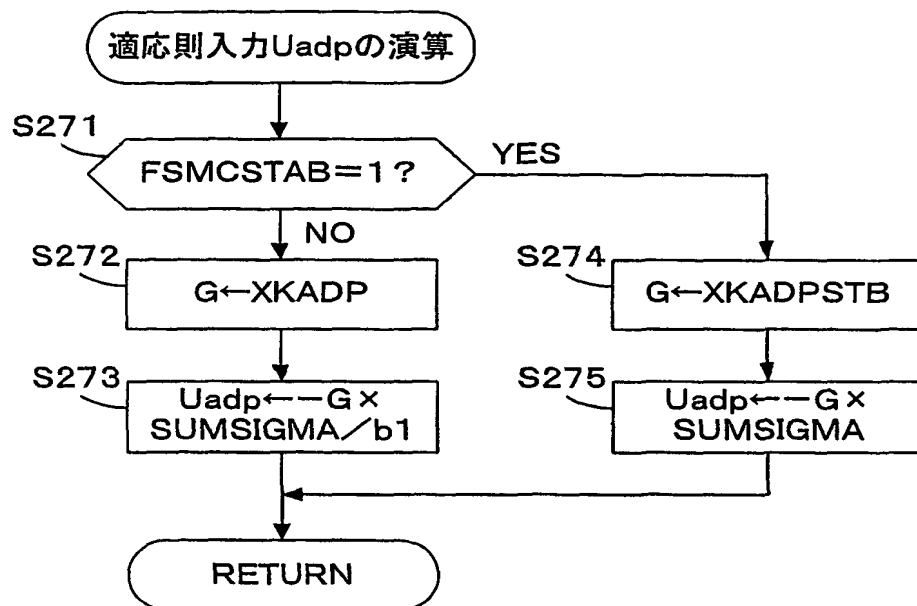


図29

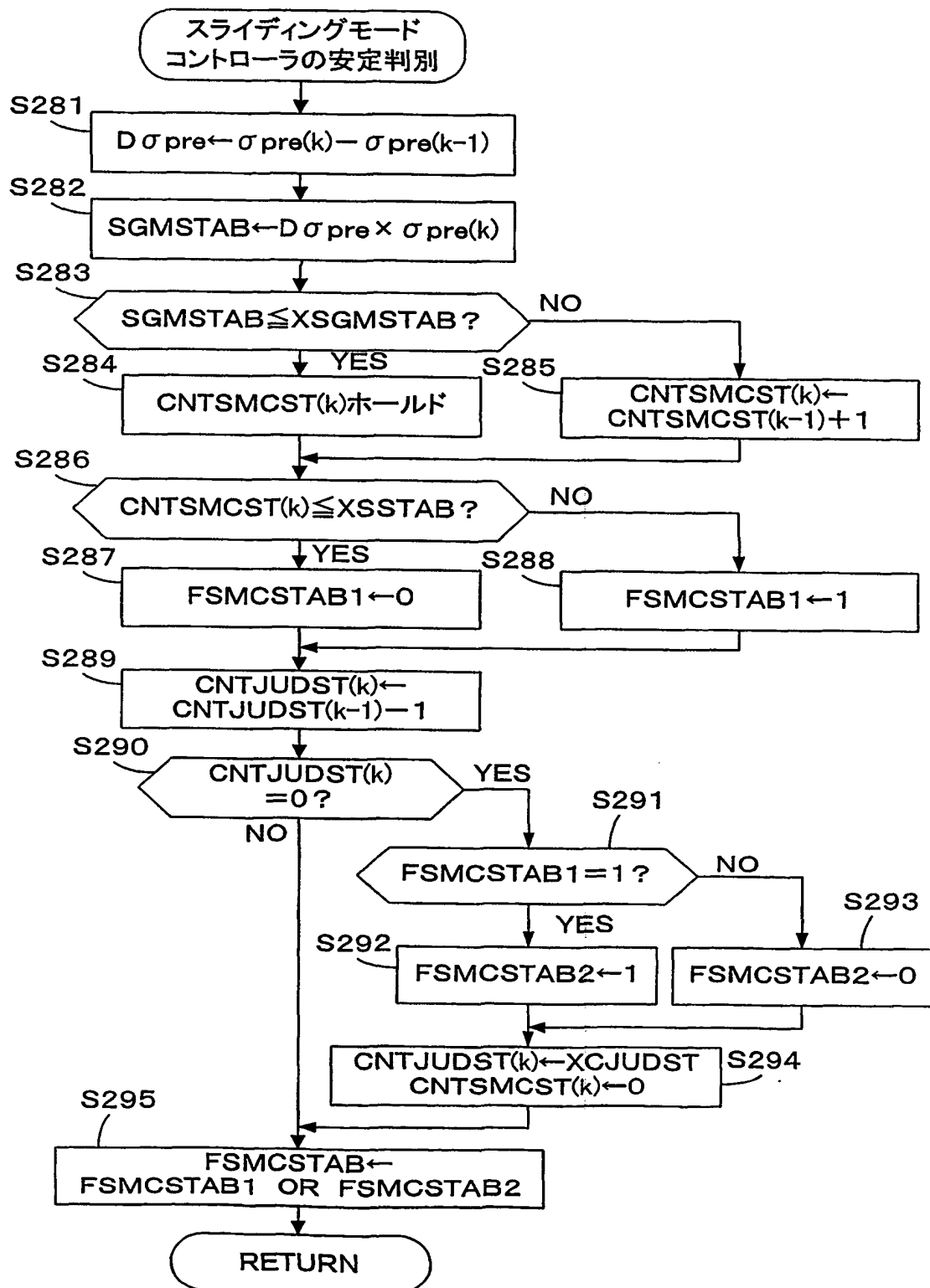


図30

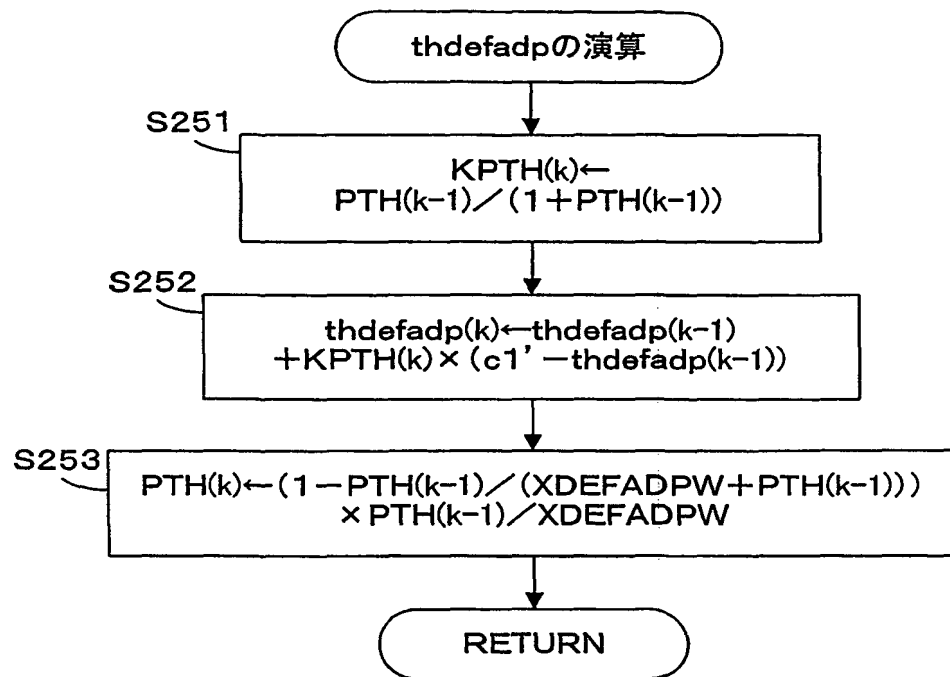


図31

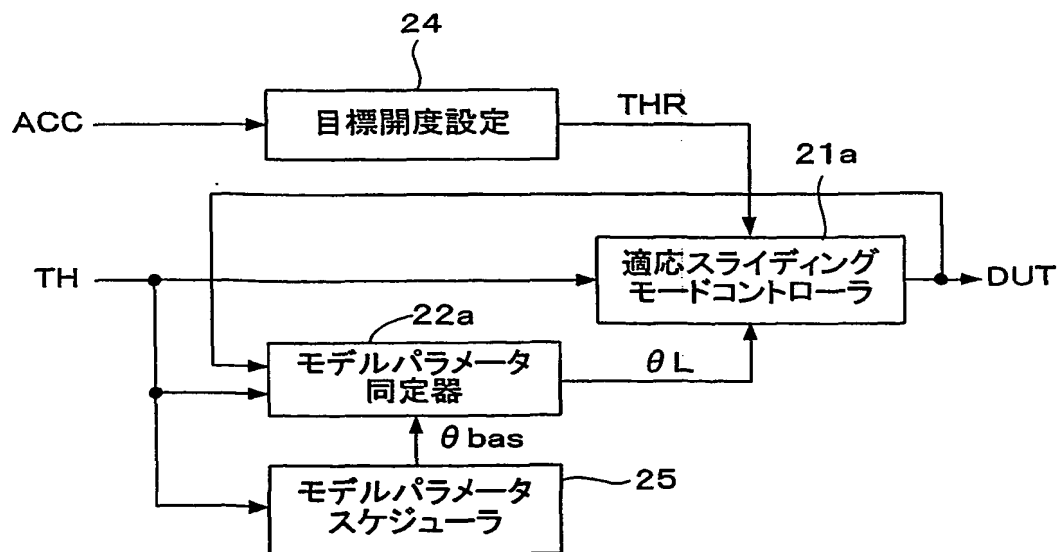


図32

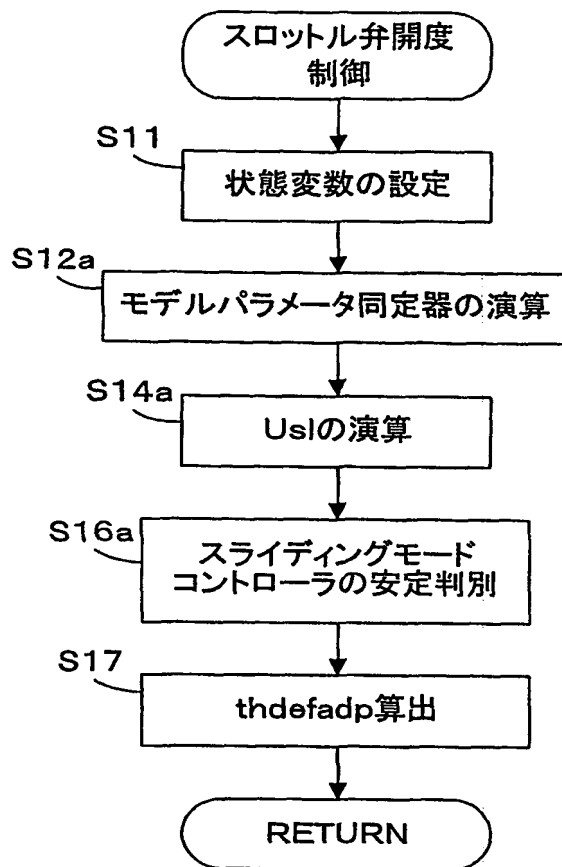


図33

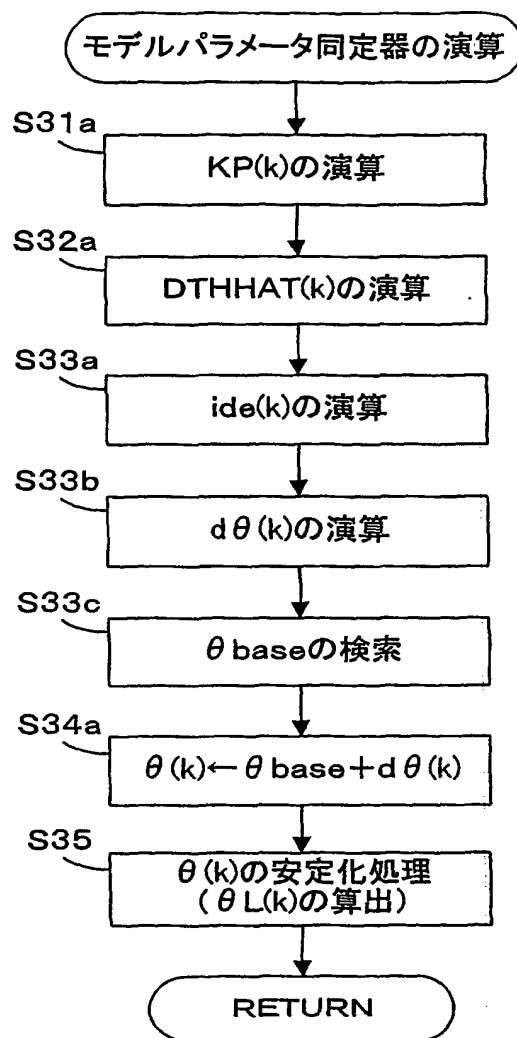


図34

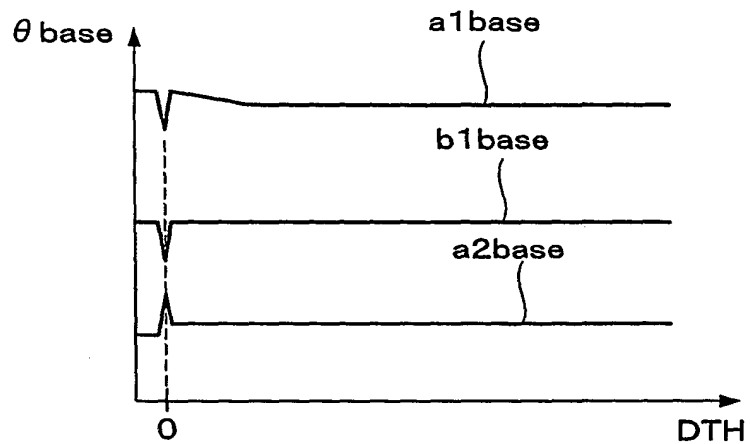


図35

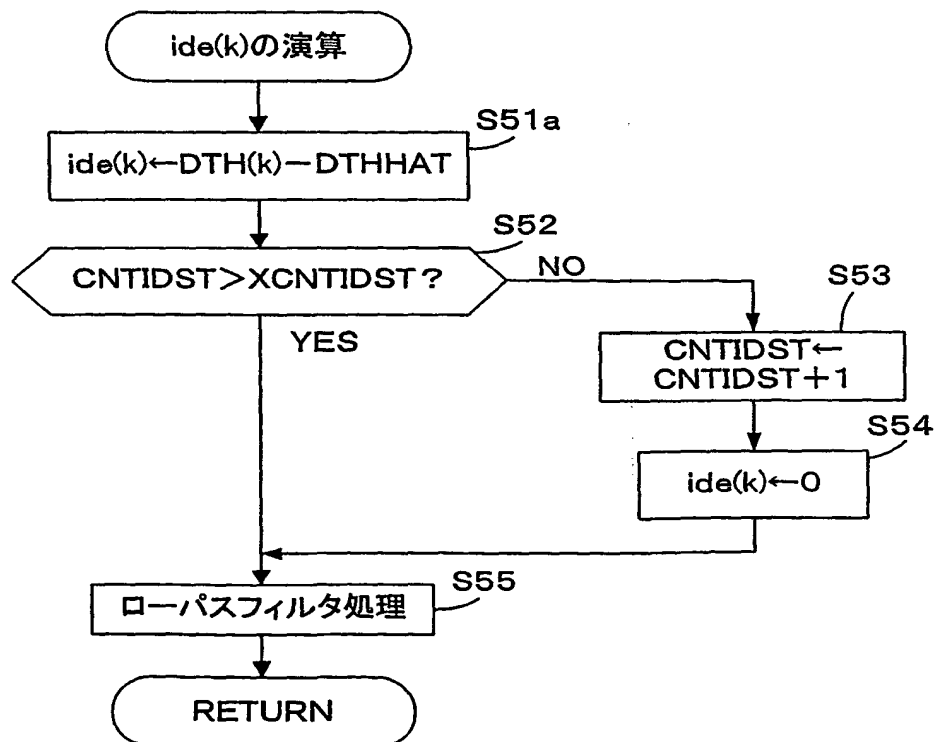


図36

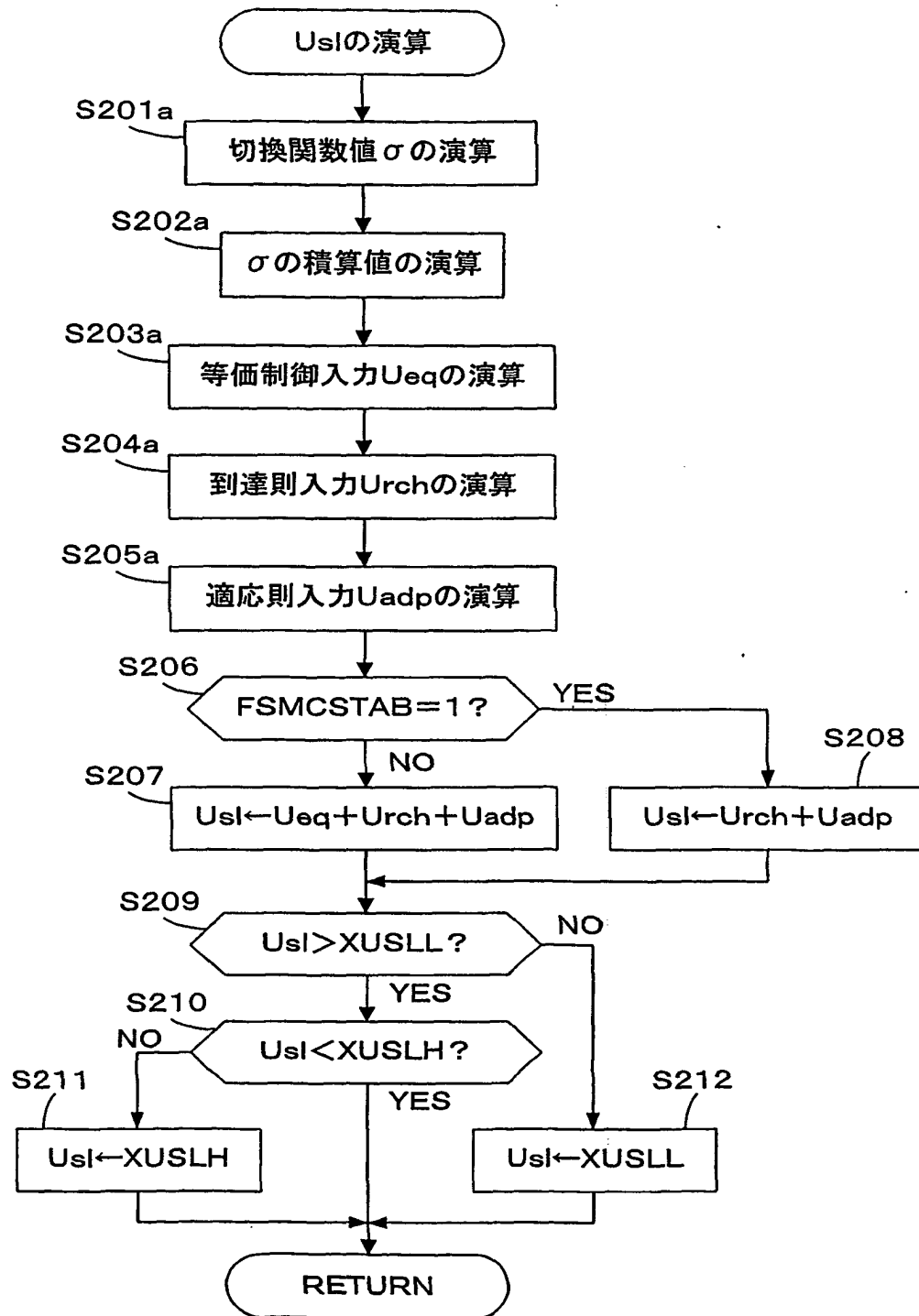


図37

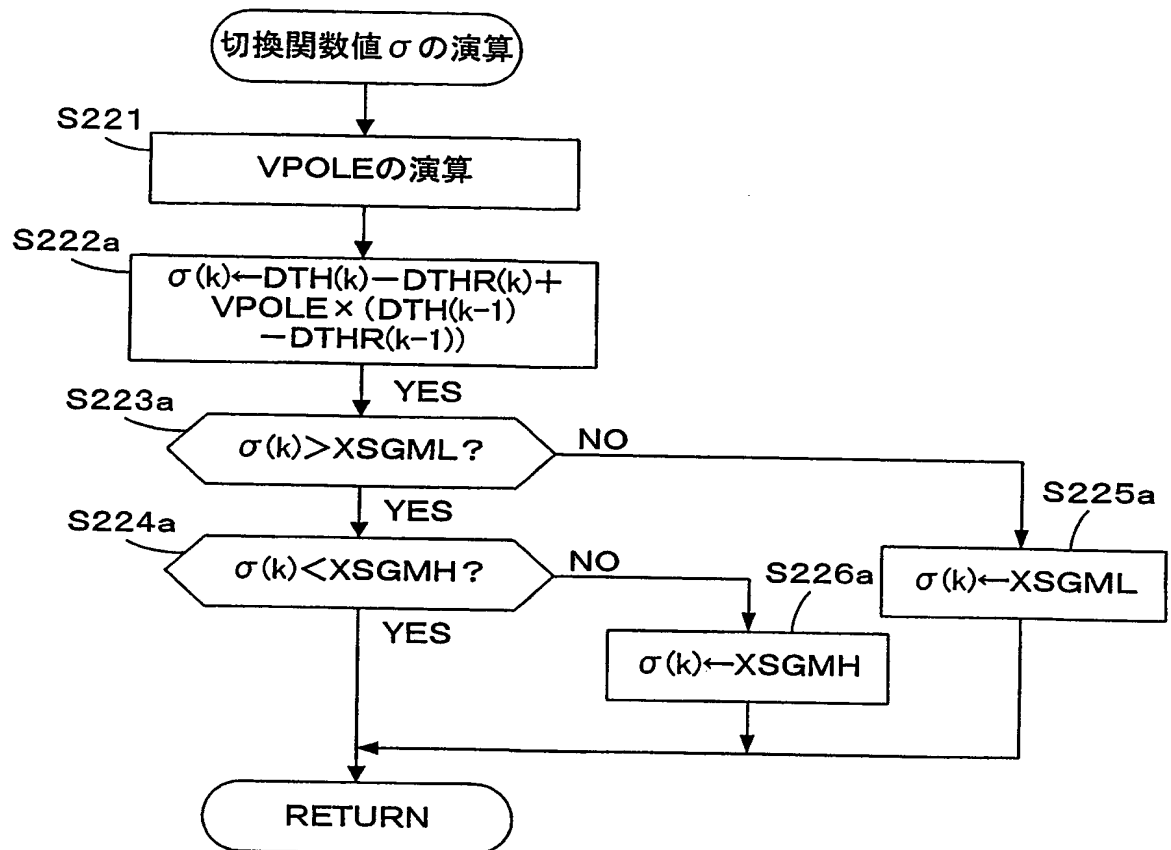


図38

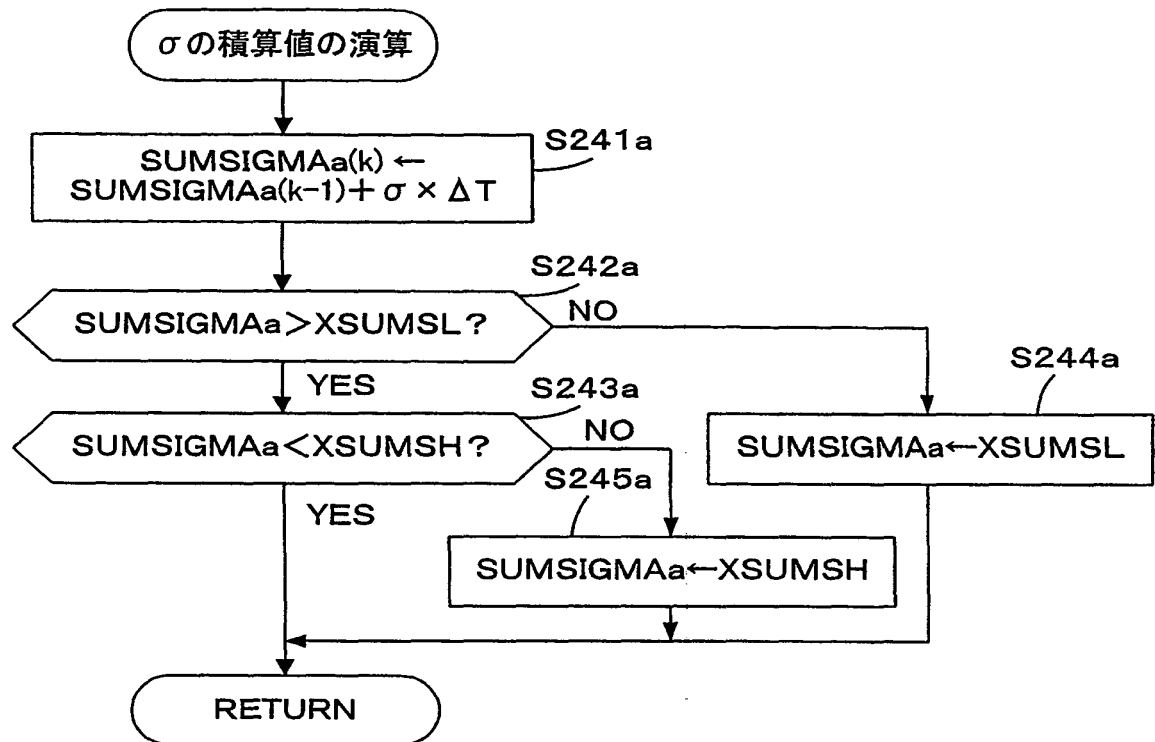


図39

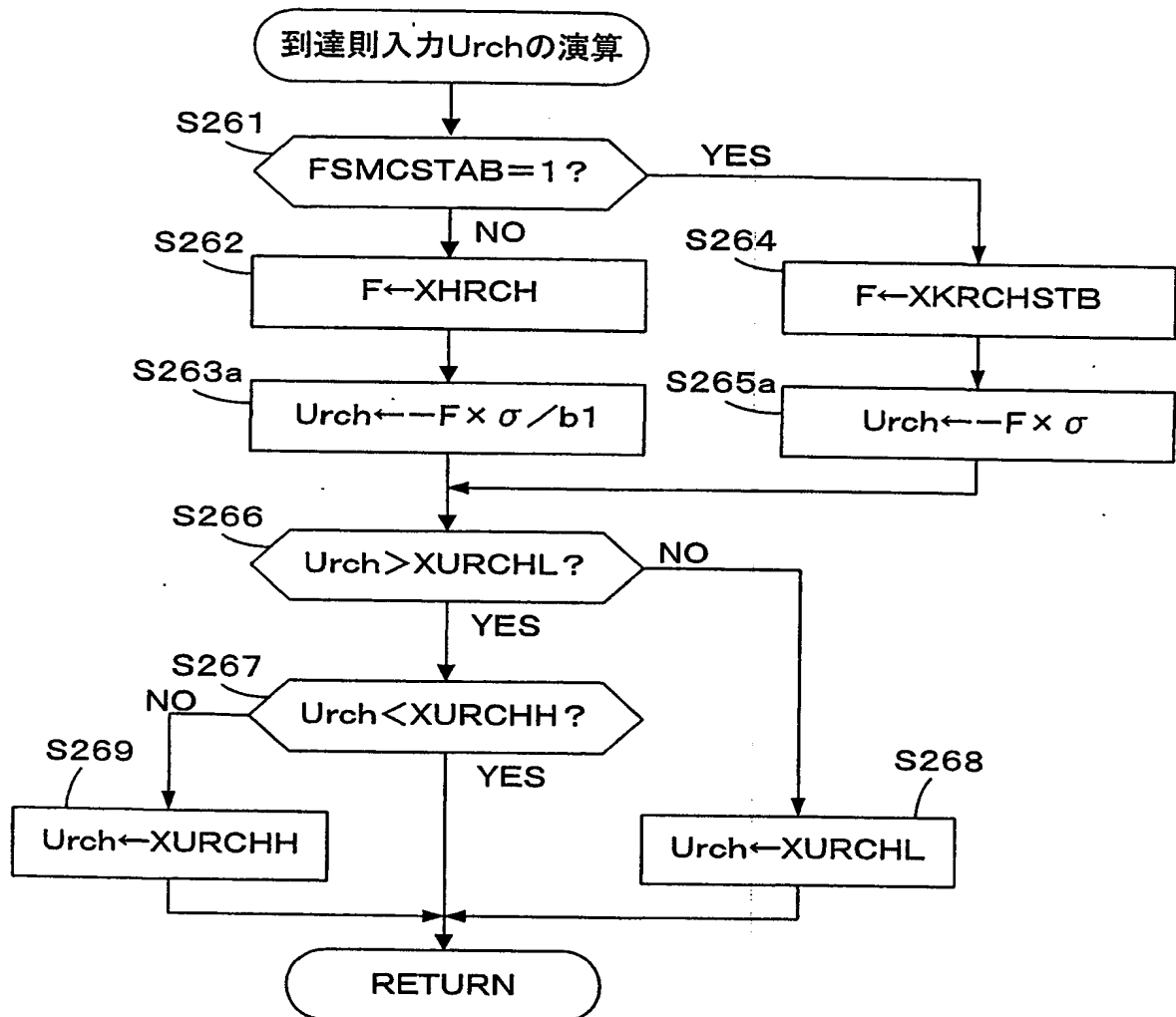


図40

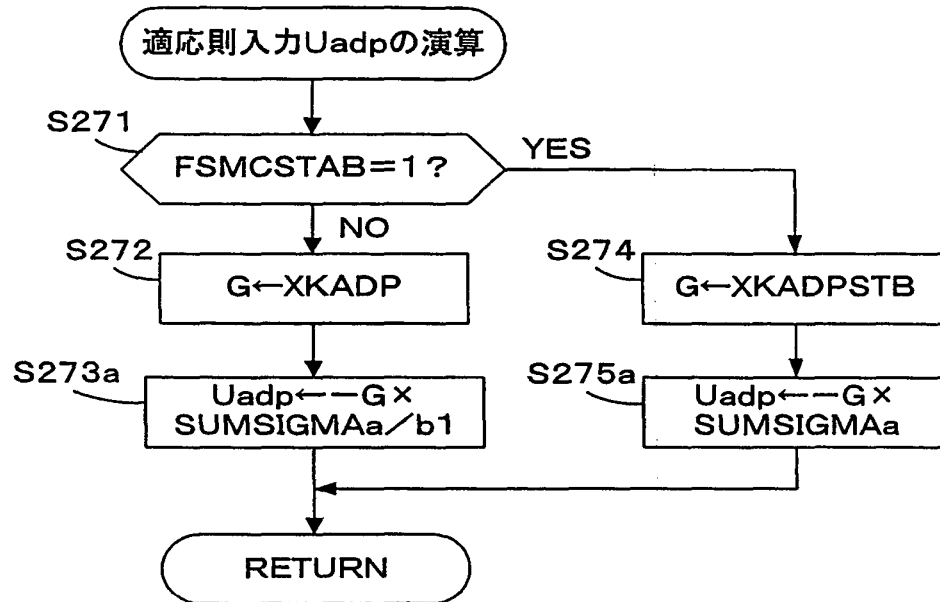


図41

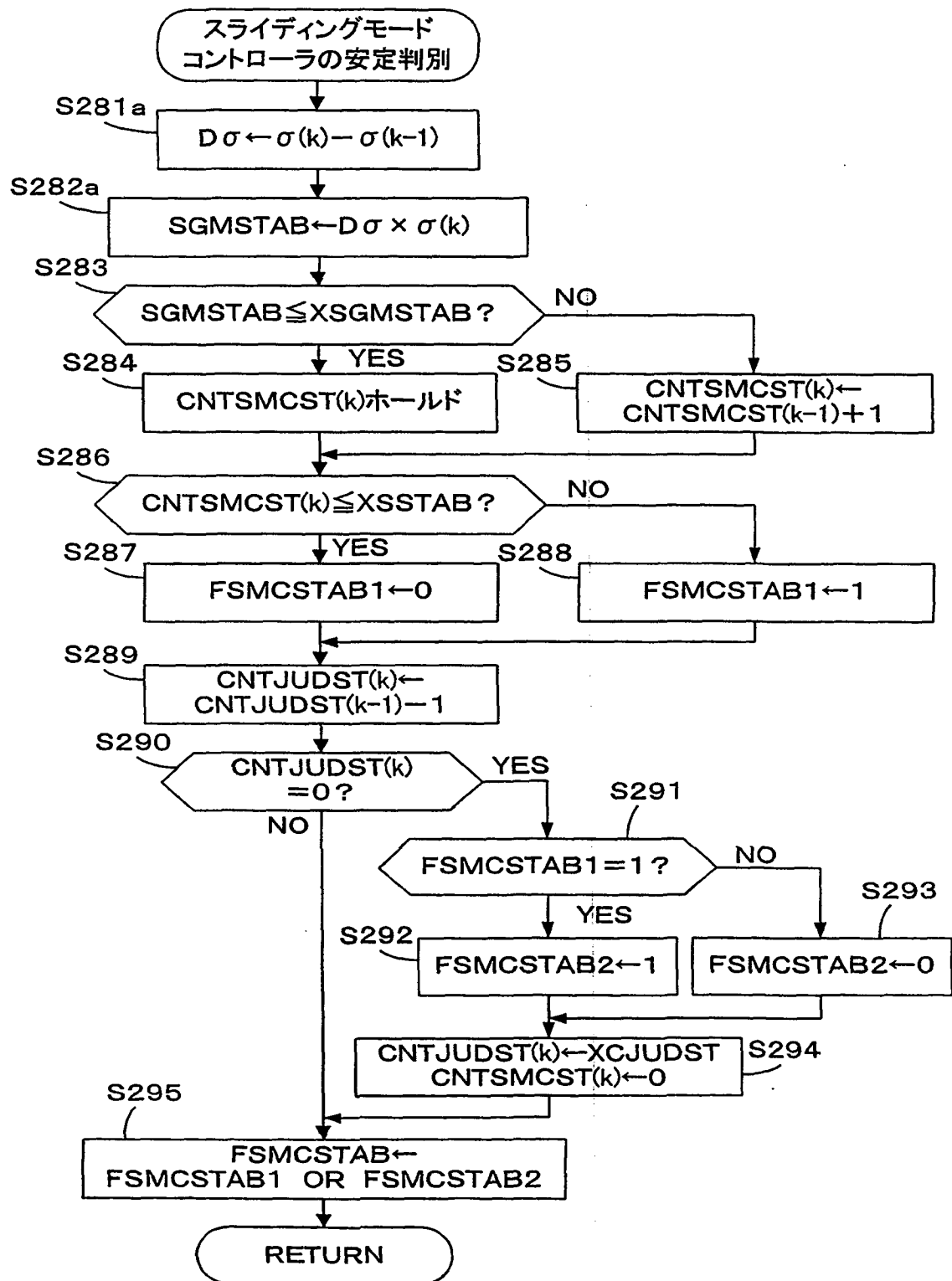


図42

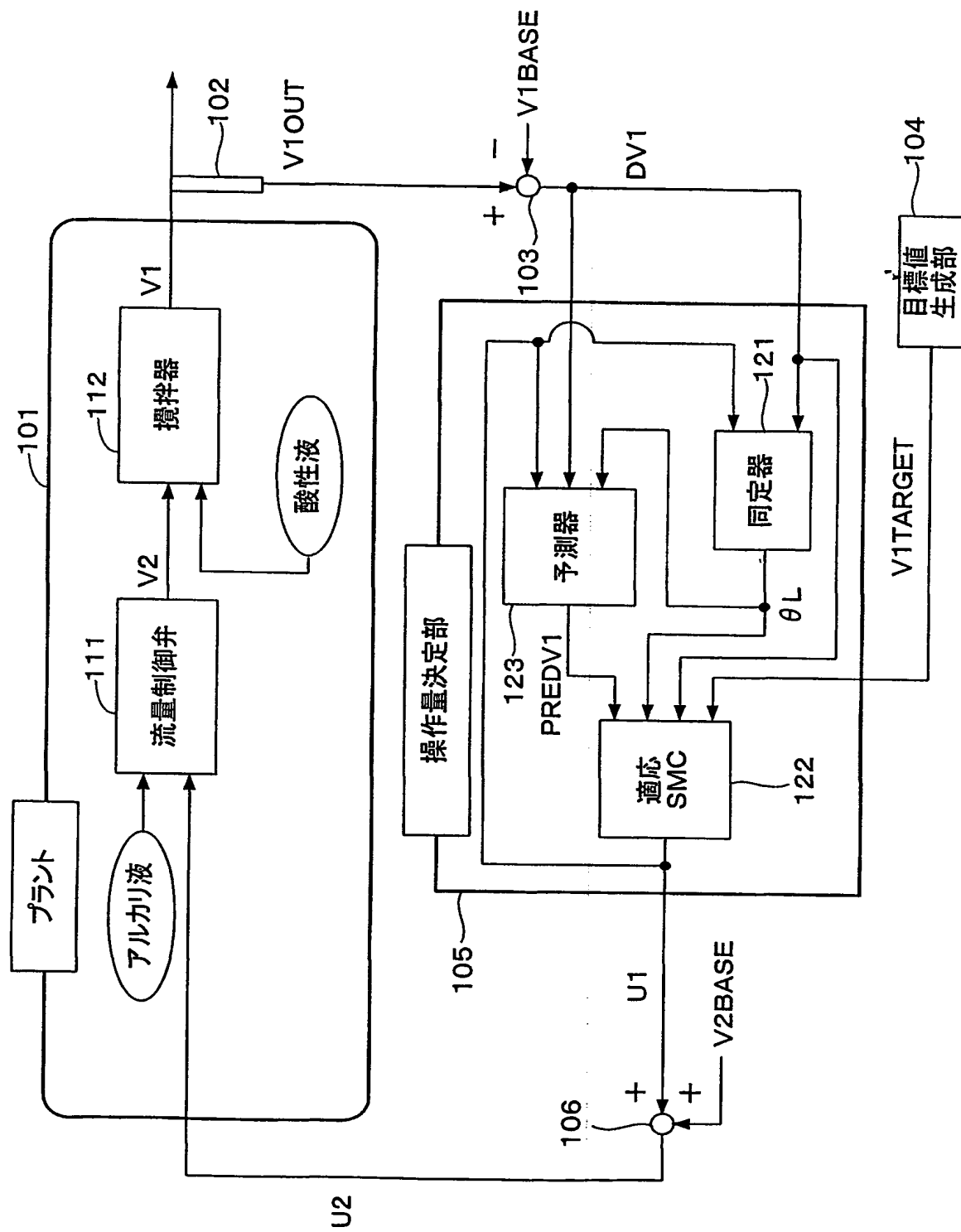


図43

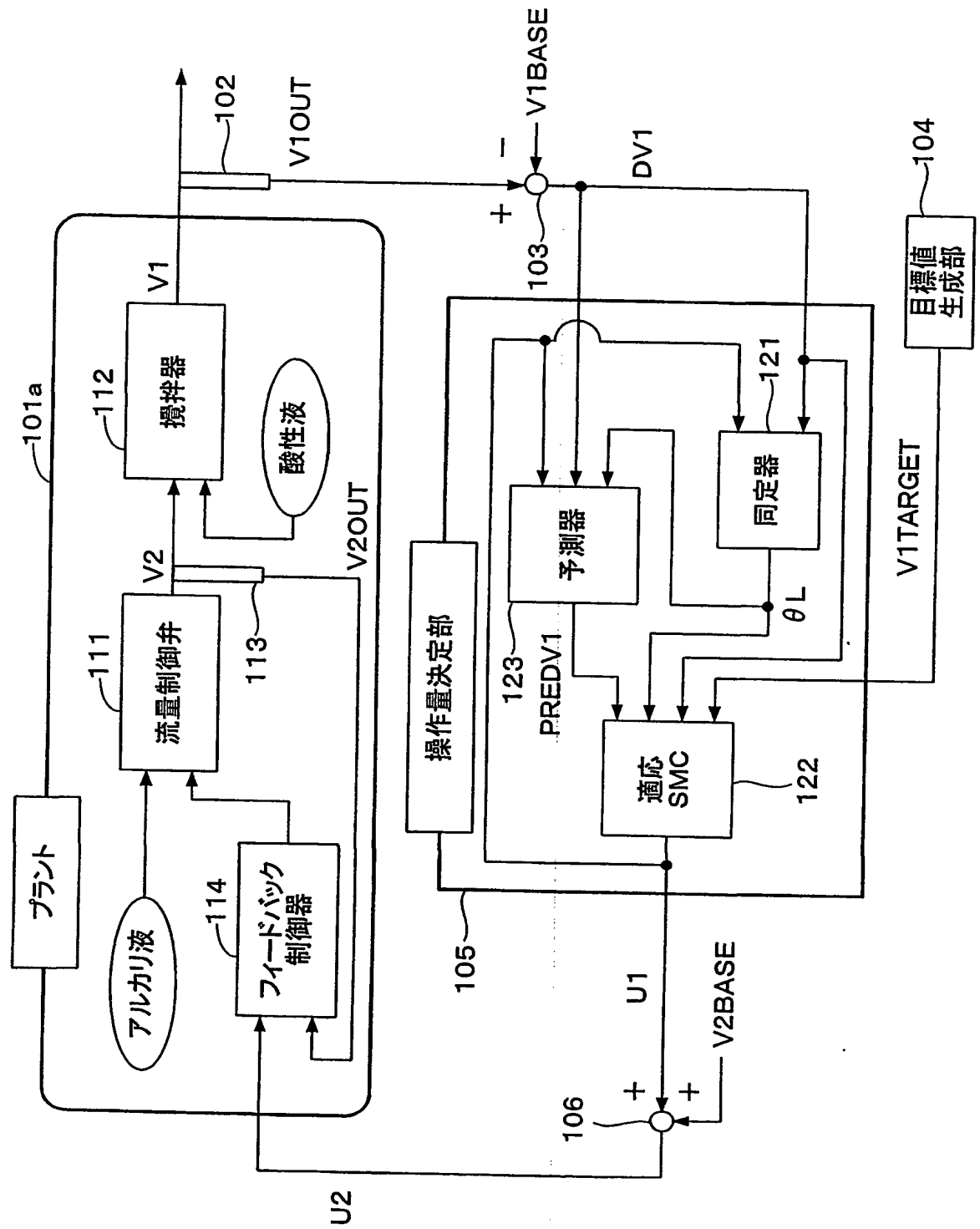


図44

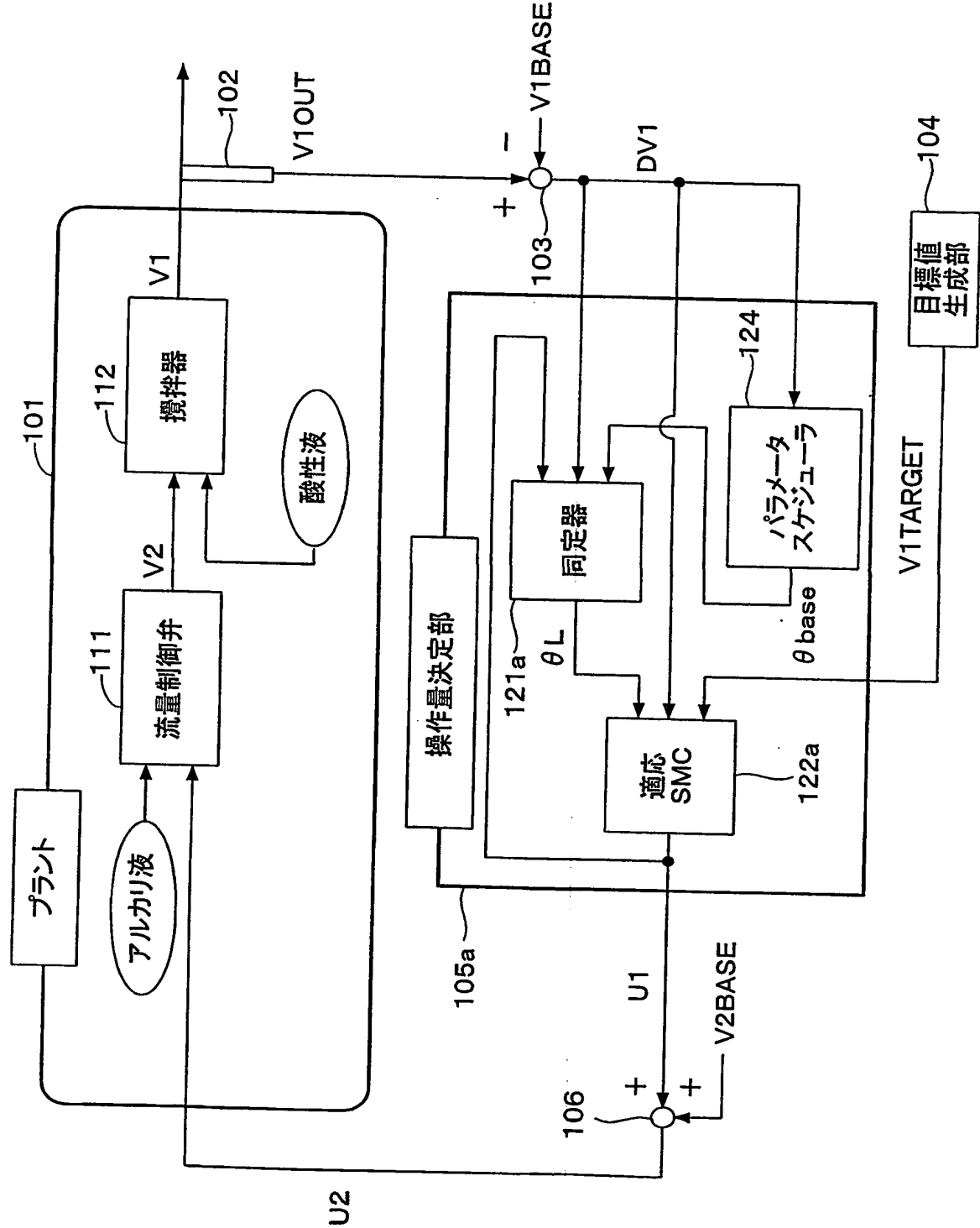


図 45

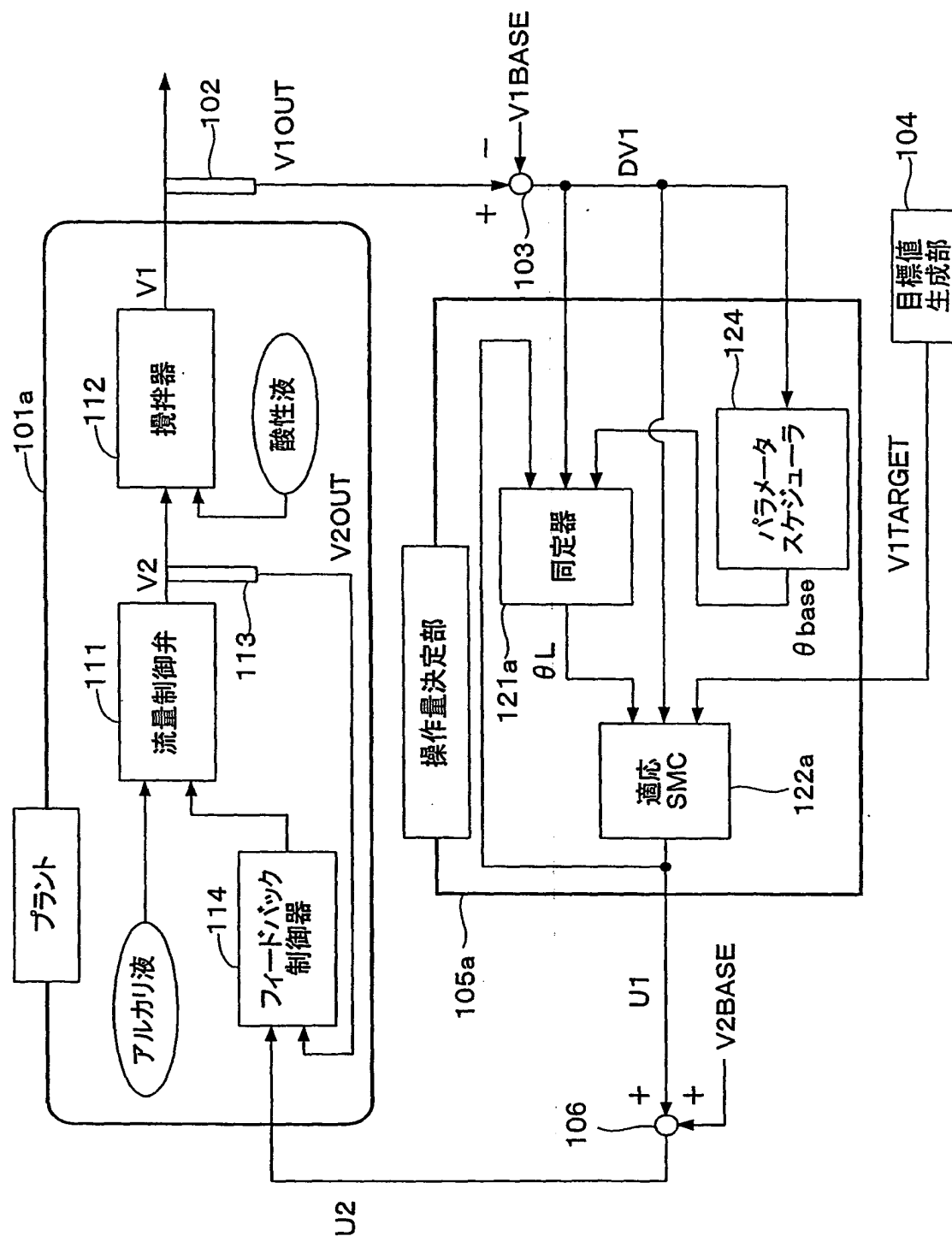


図46

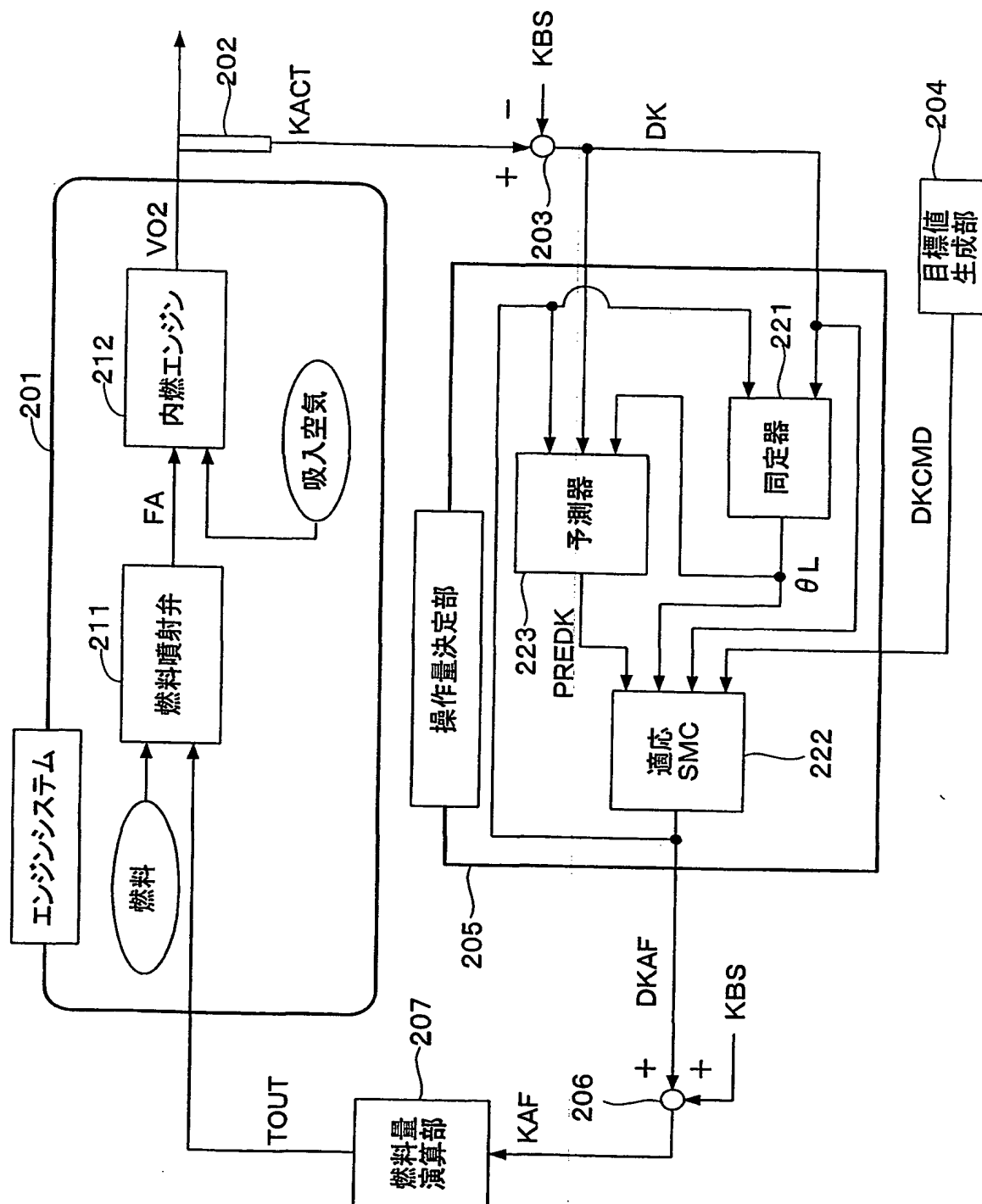
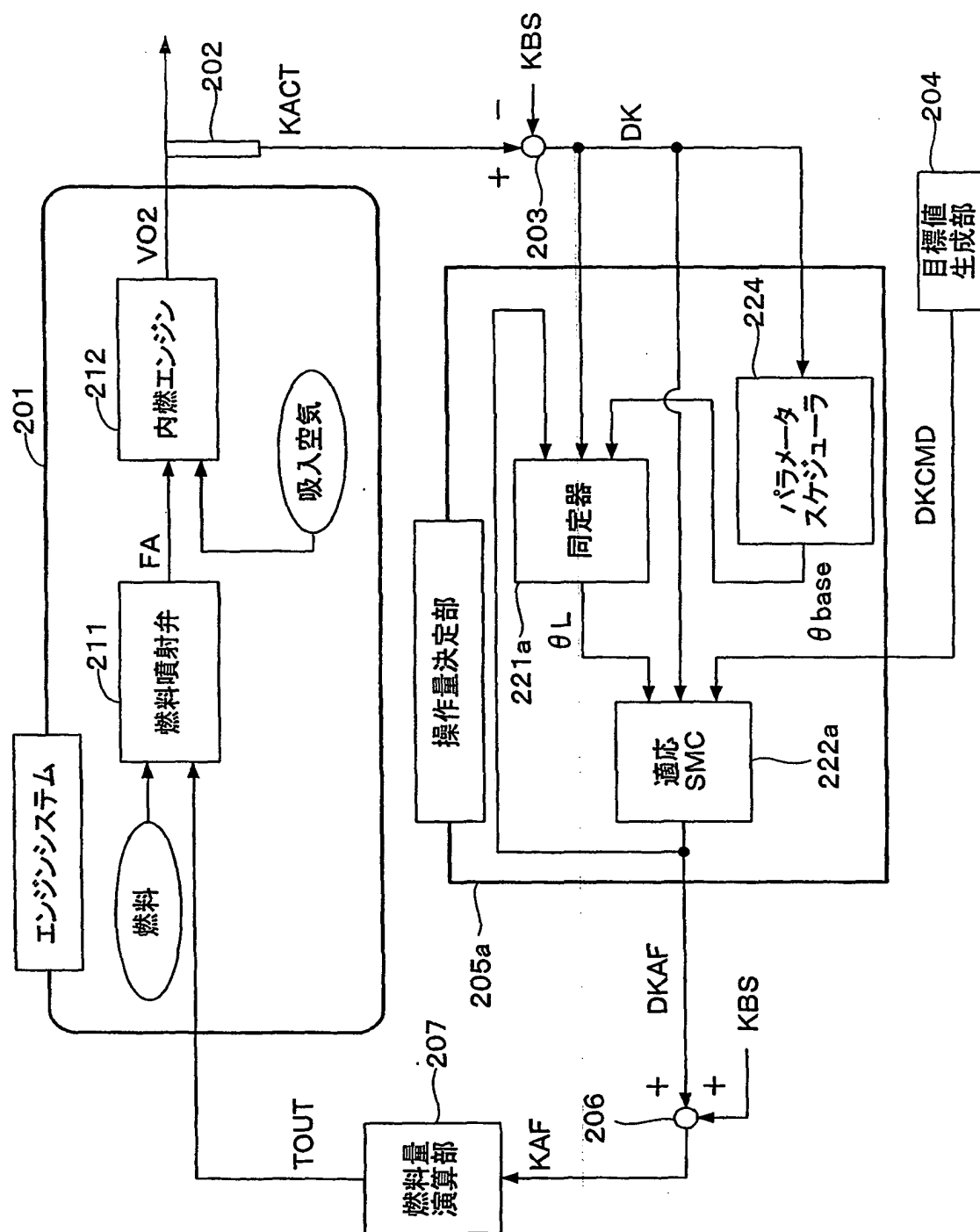


図47



A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. G05B13/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. G05B11/00-13/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2002年
 日本国登録実用新案公報 1994-2002年
 日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 11-73205 A (本田技研工業株式会社) 1999. 03. 16 第2頁左欄第2~41行、第3頁右欄第30行~第4頁右欄 第32行、第8頁右欄第13行~第12頁左欄第45行 & EP 899440 A & US 6125831 A	14-17, 20, 35-45,
Y		1-13, 18, 19, 21-24, 46, 47

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に関する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

21. 06. 02

国際調査報告の発送日

02.07.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

森林 克郎

3H

8613

電話番号 03-3581-1101 内線 3314

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 11-73206 A (本田技研工業株式会社) 1999. 03. 16 第2頁左欄第2～30行、第6頁左欄第2行～第12頁右欄 第41行 & EP 899638 A	14-17, 20, 29-37, 39-41
Y		1-13, 18, 19, 21-28, 38, 42-47
Y	JP 2000-179385 A (本田技研工業株式会社) 2000. 06. 27 第7頁左欄第8行～第8頁右欄第33行 & EP 1013915 A & US 6230486 B	1-47
Y	JP 11-93740 A (本田技研工業株式会社) 1999. 04. 06 第25頁右欄第15行～第29頁左欄第10行 & EP 908801 A & US 6079205 A	1-47
Y	JP 11-153051 A (本田技研工業株式会社) 1999. 06. 08 第37頁右欄第32行～第48頁左欄第12行 & EP 915399 A & US 6112517 A	1-47
Y	JP 10-301602 A (セイコー精機株式会社) 1998. 11. 13 第2頁右欄第45行～第3頁左欄第18行 & EP 875341 A & US 6253120 A	21-24

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP02/03895

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G05B13/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G05B11/00-13/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 11-73205 A (Honda Motor Co., Ltd.), 16 March, 1999 (16.03.99), Page 2, left column, lines 2 to 41; page 3, right column, line 30 to page 4, right column, line 32; page 8, right column, line 13 to page 12, left column, line 45 & EP 899440 A & US 6125831 A	14-17, 20, 35-45
Y		1-13, 18, 19, 21-24, 46, 47
X	JP 11-73206 A (Honda Motor Co., Ltd.), 16 March, 1999 (16.03.99), Page 2, left column, lines 2 to 30; page 6, left column, line 2 to page 12, right column, line 41 & EP 899638 A	14-17, 20, 29-37, 39-41
Y		1-13, 18, 19, 21-28, 38, 42-47

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
---	---

Date of the actual completion of the international search
21 June, 2002 (21.06.02)

Date of mailing of the international search report
02 July, 2002 (02.07.02)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/03895

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-179385 A (Honda Motor Co., Ltd.), 27 June, 2000 (27.06.00), Page 7, left column, line 8 to page 8, right column, line 33 & EP 1013915 A & US 6230486 B	1-47
Y	JP 11-93740 A (Honda Motor Co., Ltd.), 06 April, 1999 (06.04.99), Page 25, right column, line 15 to page 29, left column, line 10 & EP 908801 A & US 6079205 A	1-47
Y	JP 11-153051 A (Honda Motor Co., Ltd.), 08 June, 1999 (08.06.99), Page 37, right column, line 32 to page 48, left column, line 12 & EP 915399 A & US 6112517 A	1-47
Y	JP 10-301602 A (Seiko Seiki Kabushiki Kaisha), 13 November, 1998 (13.11.98), Page 2, right column, line 45 to page 3, left column, line 18 & EP 875341 A & US 6253120 A	21-24